

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет геоінформаційних систем та управління територіями**

**Кафедра геоінформатики і фотограмметрії**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра

на тему

« Оцінка динаміки зміни озеленення міста Києва з використанням ГІС »

Виконала: студентка IV курсу, групи ГСТ  
за напрямком підготовки  
19 «Архітектура і будівництво»  
спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Бойко Н.О.

Керівник: Максимова Ю.С.

Рецензент:

Лепетюк В.Б.

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями  
Кафедра: геоінформатики і фотограмметрії  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр  
Напрямок підготовки: 19 «Архітектура і будівництво»  
Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»  
Спеціалізація: Геоінформаційні системи і технології

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри проф.  
Карпінський Ю.О.

---

(підпис)

«4» травня 2021 року

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Бойко Наталія Олексіївна

1. Тема проекту (роботи):

« Оцінка динаміки зміни озеленення міста Києва з використанням ГІС»

Керівник проекту (роботи): Максимова Юлія Сергіївна,

затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” грудня 2020 року № 2174/2

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 07.06.2021

3. Вихідні дані до проекту (роботи) відкриті дані, в тому числі дані OSM

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Зміст

Перелік умовних позначень

Вступ

1. Аналіз предметної сфери

1.1. Важливість озеленення для населених пунктів

1.2. Аналіз нормативно-методичного забезпечення, яке регулює питання озеленення населених пунктів

1.3. Аналіз сучасних інформаційних засобів оцінювання рівня озеленення населених пунктів

Висновки до розділу 1

2. Технологія оцінювання озеленення населених пунктів

2.1. Огляд та типізація індексів для пошуку озелених територій

2.2. Огляд та вибір космічних знімків для пошуку зелених насаджень з використанням індексу NDVI

2.3. Розроблення технологічної схеми оцінювання динаміки змін озеленення

Висновки до розділу 2

3. Оцінювання динаміки зміни озеленення з використанням ГІС

3.1 Збір вихідних даних

3.2 Розрахунок індексу NDVI в QGIS

3.3. Аналіз динаміки змін озеленення з використанням ГІС в ГІС QGIS

Висновки до розділу 3

Загальні висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

UML – діаграма функцій зелених насаджень для населених пунктів; UML – діаграма нормативно-методичного забезпечення, що регулюють питання озеленення населених пунктів; UML – діаграма різновиду вегетаційних індексів; діаграма результатів розвитку зелених насаджень м. Київ.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 28.02.2021

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Вступ	31.03	
1.1	Важливість озеленення для населених пунктів	31.03	
1.2	Аналіз нормативно-методичного забезпечення, яке регулює питання озеленення населених пунктів	31.03	
1.3	Аналіз сучасних інформаційних засобів оцінювання рівня озеленення населених пунктів	31.03	
2.1	Огляд та типізація індексів для пошуку озелених територій	28.04	
2.2	Огляд та вибір космічних знімків для пошуку зелених насаджень з використанням індексу NDVI	28.04	
2.3	Розроблення технологічної схеми оцінювання динаміки змін озеленення	28.04	
3.1	Збір вихідних даних	28.05	
3.2	Розрахунок індексу NDVI в QGIS	28.05	
3.3	Аналіз динаміки змін озеленення з використанням ГІС в ГІС QGIS	28.05	
	Висновки	28.05	

Студент: \_\_\_\_\_

Бойко Н.О.

Керівник проекту (роботи): \_\_\_\_\_

Максимова Ю.С.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ.....	8
1.1 Важливість озеленення для населених пунктів .....	9
1.2 Аналіз нормативно-методичного забезпечення, яке регулює питання озеленення населених пунктів .....	12
1.3 Аналіз сучасних інформаційних засобів оцінювання рівня озеленення населених пунктів .....	16
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....	21
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ОЗЕЛЕНЕННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ .....	23
2.1. Огляд та типізація індексів для пошуку озелених територій... 24	
2.2. Огляд та вибір космічних знімків для пошуку зелених насаджень з використанням індексу NDVI.....	28
2.3. Розроблення технологічної схеми оцінювання динаміки змін озеленення.....	30
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 .....	32
РОЗДІЛ 3 ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ОЗЕЛЕНЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС .....	33
3.1. Збір вихідних даних.....	34
3.2. Розрахунок індексу NDVI в QGIS.....	39
3.3. Аналіз динаміки змін озеленення з використанням ГІС в ГІС QGIS .....	47
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 .....	50
ВИСНОВОК.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

**ГІС** – геоінформаційні системи

**ДЗЗ** – дистанційне зонування землі

**NDVI** - нормалізований індекс рослинності

## ВСТУП

Зелені насадження є одним з головних чинників не лише для формування естетичного ландшафту, а й для створення екологічних умов для мешканців населених пунктів. Важливістю зелених насаджень як елемента благоустрою є те, що вони знижують вплив негативних чинників, серед яких різноманітні забруднюючі речовини, електромагнітні випромінювання та інші. Зелені насадження є природним адсорбентом проти всіх негативних впливів, також зменшують температурні коливання та коливання вологості.

Незважаючи на те, що зелені насадження відіграють важливу роль в житті населення, території, зайняті насадженнями, щорічно скорочуються. Основною причиною цього, є те, що зросли міські та виробничі забудови.

Оскільки ГІС є одним з найбільш популярних і корисним інструментом в повсякденному житті, навчанні, роботі, а функції просторового аналізу застосовують в більшості наукових і прикладних дослідженнях, що дозволяє формувати географічні питання і отримувати на них відповіді шляхом попереднього аналізу, проведеного на основі вибраних критеріїв і створення різного роду карт, то це чудовий засіб для демонстрації результатів проведених досліджень.

Актуальність даної теми зумовлена різким зменшенням кількості зелених насаджень та необхідністю моніторингу таких змін. Адже місто постійно розвивається, а тому стає все більш складніше контролювати це питання.

Метою даної роботи є оцінка динаміки змін зелених насаджень в м. Києві за останні роки.

Завданням є: аналіз нормативно-методичного забезпечення, яке регулює питання озеленення населених пунктів; аналіз сучасних інформаційних засобів оцінювання рівня озеленення населених пунктів; розроблення UML – діаграми технологій оцінювання озеленення населених пунктів з

використанням ГІС та космічних знімків; апробація технології оцінювання динаміки зміни озеленення з використанням ГІС та космічних знімків на прикладі м.Київ.

Предмет дослідження – використання космічних знімків та ГІС для оцінювання зміни кількості озеленення на прикладі міста Київ.

Об'єктом дослідження є ГІС – технологія оцінювання динаміки зміни озеленення.

## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ**

## **1.1 Важливість озеленення для населених пунктів**

Зелені насадження міста входять до єдиної системи взаємозалежних елементів ландшафту міста й прилягаючого району, що забезпечує комплексне вирішення питань озеленення території населення. З кожним роком міста України все більше забруднюються через те, що збільшується кількість транспорту та різних забудов. Забудовники все частіше почали нехтувати озелененням територій будинків, внаслідок чого повітря в мегаполісах стає бруднішим. Багато видів декоративних рослин створюють широкі можливості для архітектурних композицій і планування міста у цілому.

Також зелені насадження є місцями активного й пасивного відпочинку населення, що є важливою складовою для життя. Озеленення міста забезпечує захист від шуму, промислового та автотранспортного забруднення, ерозійних явищ, пилу снігових наметів тощо. Зелені насадження урбанізованих систем пом'якшують мікроклімат міста, зволожують повітря, додають місту індивідуальний характер, допомагають організувати простір, створюють гарні умови для відпочинку на відкритому повітрі, оберігають від надмірного перегрівання ґрунт та поверхні стін будинків і тротуарів. Саме крони дерев не лише створюють тінь, захищаючи людей від прямих сонячних променів, але й поглинають до 25% звукової енергії, створюючи для мешканців будинків комфортні умови проживання. Зелені насадження є малим елементом запланованої структури сучасного міста й здійснюють у ньому різне функціонування (Рис. 1.1).

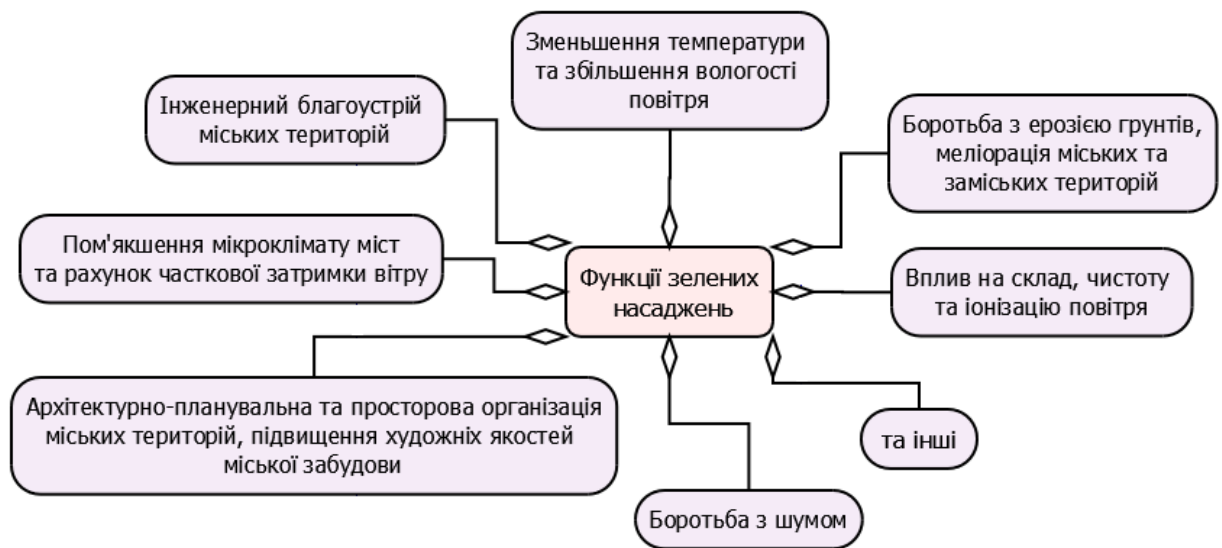


Рис. 1.1 - Функції зелених насаджень для населених пунктів

Зелені насадження мають меліоративне, водоохоронне і вітрозахисне значення. Зменшуючи силу вітру, завдяки величезній фільтрувальній поверхні листяного покриву, дерева сприяють осіданню пилових частинок. Повітря на озеленених вулицях в 4 рази чистіше, ніж на ділянках, які не мають зеленого покриву. Багато дерев мають фітонцидні властивості. Так, наприклад, 1 га ялівцю здатен знезаразити повітря великого міста. Надзвичайно високі фітонцидні властивості мають волоський горіх, тополя, сосна, ялина, смерека тощо.

Особливо велику роль зелені насадження відіграють у боротьбі з різноманітними шумами. Гігієнічна норма шумового впливу в населеному пункті не повинна перевищувати 65 дБ, хоча на вулицях з інтенсивним рухом шум може досягати 90-100 дБ. Ефективним бар'єром на перешкоді шуму є зелені насадження. Встановлено, що шумова хвиля на місцевості, яка засаджена деревами та кущами, через кожні 30 м послаблюється на 10 дБ, в той час як на відкритому просторі на такій же віддалі майже не зменшується. Найбільший ефект створюють густі зелені смуги шириною понад 50 м. Стіни будинків затримують цю звукову лавину лише наполовину, а вікна - тільки на чверть.

Діючі будівельні норми передбачають обов'язкові зелені насадження в розмірі 3 га для житлових районів загального і обмеженого користування та спеціального призначення. Територія загальноміського парку повинна бути не менше, ніж 15 га, а площа загальноміських озелених територій загального користування становити у великих містах 10 м<sup>2</sup> на людину, в середніх – 7 м<sup>2</sup>, в малих – 8 м<sup>2</sup>. Водночас ВООЗ пропонує мати на 1 міського мешканця 50 м<sup>2</sup> міських зелених насаджень і 300 м<sup>2</sup> заміських.

Також, один із цікавих фактів, що у 2000 році в США була розроблена програма з озеленення придорожніх зон. Пізніше виявили, що навколо 52 посівних площ знизився рівень поширення наркотиків. Зокрема, кількість злочинів, пов'язаних зі зберіганням наркотиків, збільшилась по всьому місту на 65%, натомість в озелених районах – впала на 18%.

«У районах із високою злочинністю громадськість повинна приділяти увагу озелененню, а мешканці мають допомагати один одному із благоустроєм присадибних ділянок», - писав американський журналіст Джуліан Спектор.

Ще один із цікавих фактів, що громадяни, які проживають в більш озелених міських районах, є менш депресивними та мають менші ознаки тривоги. Життя в таких районах із зеленими насадженнями справляє довготривалий позитивний ефект на психічне здоров'я людини, на відміну від таких факторів як просування по службі або підвищення заробітної плати, які не дають стійкого ефекту і не роблять людину дійсно щасливою в довгостроковій перспективі.

Вчені дійшли висновку, що оскільки люди, які живуть в так званих «зелених зонах», менш схильні до стресу, вони приймають більш зважені рішення та показують кращу комунікабельність.

## **1.2 Аналіз нормативно-методичного забезпечення, яке регулює питання озеленення населених пунктів**

Опираючись на Розділ IV Закону України «Про зелені насадження міст та інших населених пунктів», зазначено, що:

Стаття 12. Основні принципи використання та охорони зелених насаджень

1. Зелені насадження населених пунктів, як елементи благоустрою використовуються відповідно до їх функціонального призначення для забезпечення сприятливих умов життєдіяльності людини на засадах їх раціонального використання та охорони з урахуванням вимог правил благоустрою території населених пунктів, інших вимог, передбачених законодавством.

2. Охороні підлягають усі зелені насадження міст і інших населених пунктів України, розміщені в їх межах.

3. Власники та користувачі земельних ділянок, на яких розміщені зелені насадження, зобов'язані здійснювати контроль за їх станом та забезпечувати належний догляд.

4. Розвиток територій зелених насаджень здійснюється згідно з генеральними планами розвитку міст і інших населених пунктів України.

5. Генеральні плани розвитку міст розроблюються і реалізуються відповідно до вимог щодо охорони зелених насаджень та забезпеченню їх питомої ваги по відношенню до загальної площі району міста, мікрорайону чи іншого населеного пункту України.

6. При проектуванні нових і розширенні існуючих населених пунктів передбачається рівномірне і безперервне озеленення території з максимальним збереженням і використанням існуючих зелених насаджень.

7. Площа озелених територій загального користування для міст повинна становити не менше 10 м<sup>2</sup>/люд., в сільських поселеннях - не менше 12 м<sup>2</sup>/люд. Рівень озеленення території житлової забудови повинен бути не

менше 40 %, промислових підприємств - 30 %, ділянок шкіл і дитячих дошкільних закладів - 80 %, лікарень - не менше 60 %.

8. На територіях населених пунктів виявляються вікові дерева, які оголошуються об'єктами природно-заповідного фонду України. Особи, що мають права на власність чи користування земельною ділянкою, зобов'язані здійснювати охорону вікових дерев. На кожне вікове дерево видається охоронне свідоцтво, форма та порядок видачі якого встановлюється центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища. Вікові дерева, у випадку їх хвороби чи погіршення санітарного стану підлягають лікуванню за рахунок бюджетів міст та населених пунктів.

9. Виявлення на території зайнятої зеленими насадженнями загального користування особин видів тварин чи рослин занесених до Червоної Книги України, переліку рослин та тварин, що охороняються рішеннями обласних рад, Верховної ради АР Крим, чи включені до міжнародних конвенцій, ратифікованих Україною є підставою для надання, відповідно до закону, даній території статусу територій та об'єктів природно-заповідного фонду.

10. На територіях, що віднесені до природно-заповідного фонду забороняються будь-яка діяльність, яка суперечать охоронному статусу даної території.

11. Здійснення будівельної діяльності в містах та інших населених пунктах України проводиться з виконанням вимог щодо охорони зелених насаджень:

1) забороняється зміна цільового призначення та надання земельних ділянок на територіях зайнятих зеленими насадженнями загального користування для будівництва нових об'єктів окрім випадків, передбачених статтею 1 Закону України "Про мораторій на зміну цільового призначення окремих земельних ділянок рекреаційного призначення в містах та інших населених пунктах";

2) озеленені території, у тому числі зелені масиви, а також ділянки землі призначені для розвитку озелених територій, забудові, не пов'язаній з цільовим призначенням озелененої території, не підлягають;

3) при розробці проектної документації на будівництво оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС), на земельних ділянках зайнятих зеленими насадженнями, повинна містити інформацію про кількісний та видовий склад і відновну вартість зелених насаджень, що підлягають видаленню та пересадці в результаті реалізації проекту і дендроплан компенсаційного озеленення;

4) оформлення прав власності після завершення будівництва здійснюється після виконання компенсаційного озеленення, передбаченого проектною документацією.

12. Санітарні рубки, реконструкція зелених насаджень, а також видалення аварійних, хворих дерев та чагарників здійснюються із забезпеченням збереження гніздуючих та зимуючих в дуплах тварин.

13. Забороняється випалювання сухої трав'яної рослинності та спалювання опалого листя і гілок на території об'єктів благоустрою зеленого господарства.

Також, спираючись на ДБН Б.2.2-12:2019, визначено, що:

Пункт 8.2.2 Для озеленення міських населених пунктів слід передбачати розсадники деревних і чагарникових рослин та квітково-оранжерейні господарства. Нормативний показник площі розсадників треба приймати з розрахунку забезпеченості рівня озеленення мереж озелених територій. Площу розсадників слід передбачати не менше 80 га; загальну площу квітково-оранжерейних господарств треба приймати з розрахунку 0,4 м<sup>2</sup> на одного міста.

Відповідно до ст.15 Наказу Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України «Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України» місцеві органи влади у рамках своєї компетенції мають визначити уповноважений орган чи відповідальних осіб, які б відповідали за розвиток і контроль у сфері зеленого

господарства, зокрема щодо підготовки пропозицій із розроблення програми розвитку та збереження зелених зон окремого населеного пункту. Тобто йдеться про збереження вже наявних зелених насаджень на вже займаній території.

Кодексом України про адміністративні правопорушення встановлено відповідальність за знищення або пошкодження зелених насаджень, дерев, чагарників, газонів, квітників та інших об'єктів озеленення в населених пунктах, невжиття заходів для їх охорони, самовільне перенесення в інші місця зелених насаджень під час забудови земельних ділянок.

Також одним із нормативного забезпечення, являється Санітарні класифікації підприємства. Які регулюють необхідність зелених насаджень біля того чи іншого підприємства, в залежності від рівня його шкідливості.

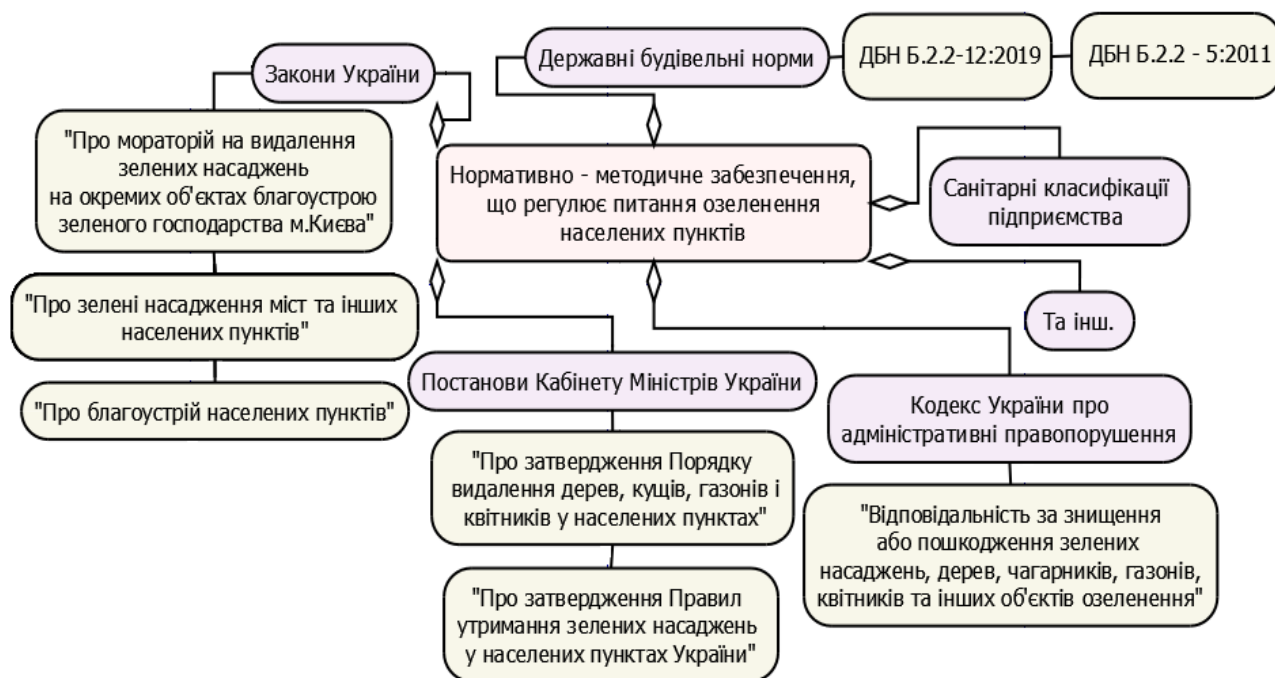


Рис. 1.2 Нормативно-методичне забезпечення, що регулюють питання озеленення населених пунктів

### 1.3 Аналіз сучасних інформаційних засобів оцінювання рівня озеленення населених пунктів

Для оцінки рівня озеленення населених пунктів, дуже добре підходить дистанційне зонування Землі (ДЗЗ), оскільки це являється спостереженням нашої планети за допомогою знімальних пристроїв, встановлених на космічних апаратах та інших літальних об'єктах, яке дає змогу фіксувати зміни та визначати тенденції процесів, що відбуваються на поверхні Землі й над нею. Історія цього наукового напрямку бере початок у 1858 р., коли Землю було вперше зафільмовано з парашута, а нового імпульсу він набув у роки Першої світової війни, коли дистанційне знімання використовувалося для потреб розвідки. На період Другої світової війни припадає вдосконалення знімальних пристроїв, поліпшення їхньої розрізняювальної здатності. Проте, власне наукове використання ДЗЗ почалося із запуском у 1972 році першого американського штучного супутника за програмою «Landsat».

Космічні знімки подібні до звичайних фотографій, але відображають Землю в різних спектральних діапазонах, яких налічується від 7 до 220. Застосування новітніх технологій у ДЗЗ дає змогу щоразу більше деталізувати об'єкти, зафіксовані на таких фотографіях.



Рис. 1.3 Приклад космічного знімку міста Київ

Зараз ДЗЗ використовується надзвичайно широко: за його допомогою відстежують, зокрема, природну й антропогенну трансформацію екосистем і перебіг та наслідки надзвичайних ситуацій. Місце й обсяг вирубки лісів і зелених насаджень, зміни русла ріки, масштаби пожежі при займанні торфовищ, обсяг розливу нафтопродуктів – все це й чимало іншого (в тому числі й того, чого не видно неозброєним оком, – наприклад, надмірно нагрітих або охолоджених ділянок земної поверхні, забруднення атмосферного повітря) дають змогу визначити й оцінити саме космічні знімки. Однак найцікавіше й чи не найважливіше у ДЗЗ – це можливість простежувати будь-які зміни в динаміці, охоплюючи також ретроспективу.

Одним з найбільш важливих індикаторів екологічного стану регіону, зокрема міській території, виступає стан рослинного покриву (трав'яниста і дерев'яно-чагарникова рослинність). Стан рослинності в межах міської території дозволяє виявити найбільш проблемні в екологічному відношенні райони міста, які мають досить низьку екологічну комфортність проживання для населення. Основним джерелом інформації для дистанційного аналізу рослинності є мультиспектральні космічні знімки.

Види робіт, що застосовуються: інвентаризація зелених насаджень (формування бази геоданих рослинності); оцінка загальної площі зелених насаджень, з підрозділом на трав'янисту і дерев'яно-чагарникову рослинність; виявлення вогнищ захворювань рослин; розподіл зелених насаджень за категоріями стану; контроль приживлюваності молодих посадок

Методом являється, автоматизоване і візуальне дешифрування космічних знімків надвисокої роздільної, високого і середнього дозволу (з використанням додаткової польової, статистичної та просторової інформації).

База геоданих рослинності є частиною галузевої схеми озеленення міської території. Її створення може виконуватися за космічними знімками надвисокої роздільної здатності: виконується векторизація контурів рослинних асоціацій і підрозділ рослинності на типи (деревно-чагарникова і

трав'яна), рослинність підрозділяється за категоріями стану по спеціалізованій розробленою методикою з використанням індексу NDVI.



Рис. 1.4 Векторизований фрагмент

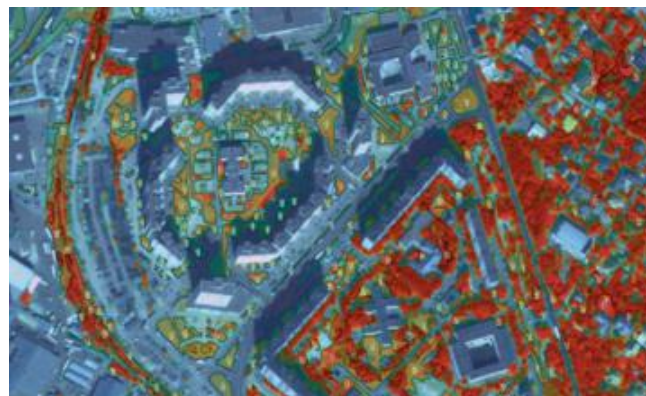


Рис. 1.5 Підрозділ рослинності за категоріями стану (з використанням індексу NDVI)

Ще одним із засобів, що допоможуть оцінити динаміку зміни озеленення є ГІС інструменти. Оскільки з часів свого утворення, по мірі ускладнення екологічних проблем, система моніторингу довкілля незмінно удосконалювалась та трансформувалась. На сьогодні, моніторинг є інформаційною основою для широкого спектру природоохоронних задач. Дані, отримані в результаті проведення моніторингу, прив'язані до певних об'єктів місцевості, тобто мають просторовий характер. Тому для їх введення, збереження, обробки та аналізу доцільно застосовувати ГІС та бази даних.

Вони забезпечують обробку, аналіз та моделювання навколишнього світу з використанням просторового аспекту.

За допомогою ГІС можна оцінити стан довкілля та динаміку його зміни, спрогнозувати розвиток ситуації, віднайти просторове рішення на основі переробки просторово-координованої інформації. Результатом геоінформаційної обробки є моделі геопростору різного призначення, предметного змісту, точності та детальності, аналітичні характеристики геопростору, просторові рішення для планування й управління територіями і функціонуючими на них об'єктами життєдіяльності людини, а також для використання природних ресурсів і об'єктів. У вирішенні задач моніторингу ГІС дозволяють оперативно отримувати належну інформацію з її подальшим відображенням, що забезпечує наочну основу для аналізу. Їх суттєвою перевагою є можливість використання інформації з різних видів джерел, з подальшою інтеграцією.

Важливою властивістю ГІС є можливість створення карт стану навколишнього середовища та відображення динаміки його зміни відповідно до обраного параметру (тиск, температура, сила вітру тощо). За допомогою введених дистанційних даних (супутникових та польових спостережень) можна здійснювати моніторинг місцевих та широкомасштабних антропогенних впливів. Широкий спектр інструментів програмного забезпечення дозволяє моделювати поширення забруднень та будувати порівняльні картограми як за точковими об'єктами (пости спостереження, викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел), так і за полігональними (райони, області, країни).

Серед прикладів застосування ГІС для моніторингу стану, динаміки змін озеленення, внесення пропозицій стосовно покращення зелених територій, можна розглянути один із геопорталів, що в базі даних зберігає відомості про місцезрештування, характеристики зелених насаджень та забезпечує можливість вирішення різних задач.

Наприклад геопортал містобудівного кадастру Тернопільської міської територіальної громади. Складена схема проектних пропозицій щодо озеленення міста (рис.1.6)

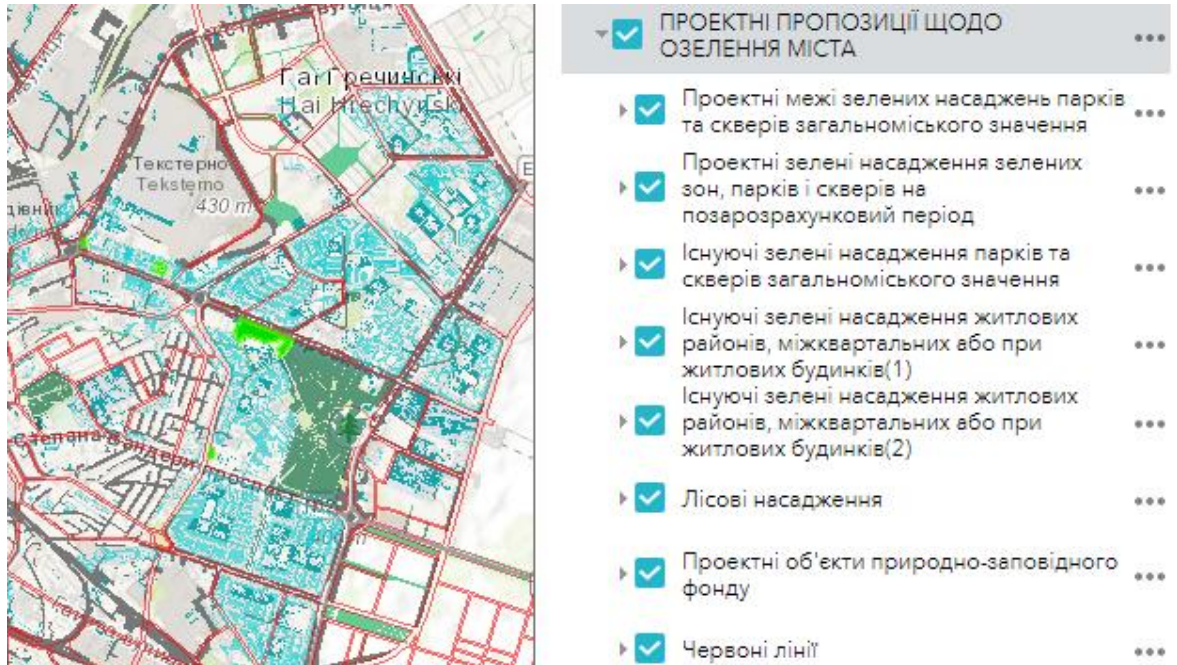


Рис. 1.6 Схема проектних пропозицій стосовно озеленення міста

З правої сторони можна розглянути один із слоїв, а саме «Проекти пропозиції щодо озеленення міста» який містить в собі: проектні межі зелених насаджень парків та скверів; існуючі зелені насадження парків та скверів загальноміського призначення; лісові насадження тощо. Тобто, таким чином, можна переглянути інформацію, яка вже занесена до бази даних стосовного тих чи інших характеристик обраної території і спираючись на неї подати нові цікаві пропозиції.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Озеленення територій відіграє важливу роль в житті населення. Оскільки завдяки зеленим насадженням забезпечується захист від шуму, промислового та автотранспортного забруднення, ерозійних явищ, пилу снігових наметів тощо. Вони пом'якшують мікроклімат міста, зволожують повітря, додають місту індивідуальний характер, допомагають організувати простір, створюють гарні умови для відпочинку на відкритому повітрі, оберігають від надмірного перегрівання ґрунт та поверхні стін будинків і тротуарів.

Також, вони дуже позитивно впливають на психічний та емоціональний стан людини, адже як було доведено вченими, ті, хто проживають на більш озелених територіях, є менш схильними до депресивного стану. Створюють затінки та захищають від прямих сонячних попадань, зменшуючи цим ризик різних захворювань та перегрівання ґрунту.

Для того, щоб регулювати питання стосовно озеленення населених пунктів, можна звернутись до таких нормативно-методичних забезпечень:

Закони України «Про зелені насадження міст та інших населених пунктів»;

Постанови Кабінету Міністрів України;

Державні Будівельні Норми;

Санітарні класифікації підприємств;

Кодекс України про адміністративні правопорушення та інш.

В них пояснюється, які правила має дотримуватись те чи інше підприємство стосовно озеленення території; до якої адміністративної відповідальності може бути притягнутий власник підприємства або громадянин, якщо не буде дотримуватись певних норм по відношенню до зелених насаджень; закони, що регулюють співвідношення забудов до зелених територій.

Саме для того, щоб регулювати всі ці питання щодо озеленення населених пунктів, можна скористатись сучасними інформаційними засобами оцінювання рівня розвитку території. Взяти космічні знімки зроблені протягом певного проміжку часу, можна буде оцінити на скільки змінились зелені території певного населеного пункту. Також є, інформаційні геопросторові бази даних, в які внесені об'єкти зеленого будівництва, зелені насадження та лісопарки міста, що допомагають вести автоматичну нумерацію дерев та визначати їх GPS координатами та навіть визначити, якими шкідниками та хворобами вражені зелені насадження.

**РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ОЗЕЛЕНЕННЯ  
НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ**

## 2.1. Огляд та типізація індексів для пошуку озелених територій

Для пошуку територій, що містять рослинність, використовують багато різних вегетаційних індексів. Вегетаційний індекс є показником, що розраховується в результаті операцій з різними спектральними діапазонами дистанційного зондування, і має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі. Ефективність вегетаційних індексів визначає особливості відображення. Розрахунок здебільшого яких базується на двох найбільш стабільних ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин. Як приклад, можна розглянути такі індекси: EVI, GNDVI, CVI, LAI, а найбільш детальніше NDVI, оскільки саме цей індекс буде використаний при виконанні даної дипломної роботи.

EVI (англ. Enhanced Vegetation Index) - вдосконалений вегетаційний індекс. Розроблено як поліпшення NDVI шляхом оптимізації сигналу рослинності в областях з високим індексом листкової поверхні (LAI). Індекс використовує синю область відображення для корекції фонових сигналів ґрунту і зменшення атмосферних впливів, в тому числі аерозольного розсіювання. Найбільш корисний в регіонах з високим рівнем LAI, де NDVI може перенасичуватися. Значення EVI для вегетаційних пікселів повинні знаходитися в діапазоні від 0 до 1. Яскраві об'єкти, такі як хмари і білі будівлі, поряд з темними об'єктами, такими як вода, можуть привести до аномальних значень пікселів в зображенні EVI. Використовується для оцінки мінливості розвитку культур як в умовах густого рослинного покриву, так і в умовах розрідженої рослинності.

GNDVI (англ. Green Normalized Difference Vegetation Index) - зелений нормалізований відносний вегетаційний індекс. Схожий на NDVI за винятком того, що він замість червоного спектра вимірює зелений в діапазоні від 0,54 до 0,57 мкм. Це показник фотосинтетичної активності рослинного покриву, найбільш часто використовуваний при оцінці вмісту вологи та концентрації

азоту в листках рослин по мультиспектральних даних, у яких відсутній крайній червоний канал. У порівнянні з індексом NDVI, більш чутливий до концентрації хлорофілу. Застосовується при оцінці пригнобленої і старіючої рослинності.

CVI (англ. Chlorophyll Vegetation Index) - вегетаційний індекс хлорофілу. Має підвищену чутливість до вмісту хлорофілу в листяному покриві. Використовується з початку і до середини циклу зростання культур для широкого діапазону ґрунтів і умов посіву шляхом аналізу великого набору синтетичних даних, отриманих з використанням моделі відображення листкової поверхні. Підвищена чутливість індексу до концентрації хлорофілу в листі обумовлена ефективною нормалізацією різних значень LAI, отриманих при введенні червоного і зеленого кольорів.

SAVI Ґрунтовий вегетаційний індекс, що був введений для мінімізації яскравості ґрунту. Коефіцієнт корекції по ґрунті L в рівнянні NDVI, щоб зменшити ґрунтові шуми, які суттєво впливають на результат (вологість ґрунту, її колір, варіабельність ґрунтів в регіоні та ін.). Коефіцієнт L в індексі SAVI не є постійним. Він коливається в діапазоні від -1 до 1, в залежності від кількості зеленого покриву на досліджуваній території. У заснованому на дистанційному зондуванні аналізі областей з інтенсивною зеленою рослинністю коефіцієнт  $L = 0$  (в цьому випадку дані вегетаційного індексу SAVI і NDVI однакові), а в регіонах з незначною рослинністю  $L = 1$ . Даний індекс використовується для аналізу культур на ранніх стадіях розвитку; для моніторингу посушливої місцевості з мізерною вегетацією (менше 15% загальної площі) і відкритих просторів, де поверхня ґрунту не захищена рослинністю.

NDVI (Нормалізований індекс рослинності) - нормалізований відносний індекс рослинності - простий показник кількості фотосинтетичної активності біомаси (зазвичай званий вегетаційним індексом). Один з найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, що використовують кількісні оцінки рослинного покриву.

Обчислюється за такою формулою (2.1):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}; \quad (2.1)$$

де, NIR - відображення кольору в ближньому інфрачервоному діапазоні  
RED - відображення в червоній області.

Відповідно до цієї формули, щільність рослинності (NDVI) в певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в червоному і інфрачервоному діапазоні, поділеній на суму їх інтенсивностей.

Розрахунок NDVI базується на двох найбільш стабільних (що не залежать від інших чинників) ділянках спектральної кривої відбиття судинних рослин. У червоній області спектра (0,6-0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній області (0,7-1,0 мкм) знаходиться область максимального відображення клітинних структур листа. Тобто висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) веде до меншого відбиття в червоній області спектра і більшого в інфрачервоній. Ставлення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати і аналізувати рослинні від інших природних об'єктів. Використання ж таки не простого відносин, а нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відображень збільшує точність вимірювання, дозволяє зменшити вплив таких явищ як майже однакових умов освітлення знімка, хмарності, димки, поглинання радіації атмосферою та ін.

Карти NDVI часто використовуються як один з проміжних додаткових шарів для проведення більш складних типів аналізу. Результатами яких можуть бути карти продуктивності лісів і сільськогосподарських земель, карти типів ландшафтів, рослинності і природних зон, ґрунтові, аридні, фіто-гідрологічні та інші еколого-кліматичні карти. Так само, на його основі можливе отримання численних даних для використання в розрахунках оцінки і прогнозування врожайності і продуктивності, біологічного різноманіття,

ступеня порушення і збитку від різних природних і антропогенних лих, аварій і т.д. Часто ці дані використовуються для обчислення інших, універсальних і територіально-прив'язаних індексів: LAI - індекс листкової поверхні, FPAR - індекс фотосинтетичної активної радіації, що поглинається рослинністю тощо.

В цілому, головною перевагою NDVI є легкість його отримання: для обчислення індексу не потрібно ніяких додаткових даних і методик, крім безпосередньо самої космічної зйомки і знання її параметрів.



Рис. 2.2 Різновид вегетаційних індексів

## **2.2. Огляд та вибір космічних знімків для пошуку зелених насаджень з використанням індексу NDVI**

Супутникові зображення є потужними інструментами для виявлення об'єктів і аналізу, а також забезпечують яскраві ілюстрації. Сьогодні дані дистанційного зондування є загальнодоступними завдяки деяким супутниковим проектам. Як приклад, можна розглянути та порівняти: Landsat та Sentinel. Оскільки вони дуже добре підходять для розрахунку індексу NDVI.

Розглянемо Landsat:

Великою перевагою цієї програми є доступність знімків середнього дозволу і їх безкоштовне поширення для будь-якого типу користувачів. У лінійці супутників Landsat, восьме покоління виграє в плані кількості знятих сцен (до 400 за добу), більш високого якості зображень (12 біт на піксель) і більшої кількості каналів (9 діапазонів видимого світла і ближнього інфрачервоного випромінювання, а також 2 діапазону далекого (Теплового) інфрачервоного випромінювання). Один піксель знімка Landsat має дозвіл близько 30 \* 30 метрів.

Sentinel-2:

Програма Європейського космічного агентства Sentinel-2 є одним із найбільш яскравих представників, які підтримують світову тенденцію у зростанні вільного доступу до даних дистанційного зондування. Висока просторова роздільна здатність (до 10 м) мультиспектральних даних, отриманих з супутника Sentinel-2, в поєднанні з вільним доступом та періодичністю знімання до 8 днів дозволяє здійснювати наприклад, моніторинг сільськогосподарських культур на протязі всієї фази вегетації.

Спочатку знімки супутника Європейського космічного агентства Sentinel-2 призначалися для фахівців, що займаються проблемами екології, зростання мегаполісів і продуктивністю сільськогосподарських культур. Відтепер ці цифрові зображення стануть надбанням мільйонів користувачів.

До цього одним з основних джерел фотографій Землі були американські космічні апарати Landsat, які пропрацювали на орбіті більше 40 років.

Sentinel-2 доповнить їх зусилля, надавши фотознімки більш високої якості. Камери супутника охоплюють смугу шириною 290 км, що на 65 км більше, ніж у «американців». Те ж можна сказати і про якість знімків.

В даній дипломній роботі для розрахунку індексу NDVI будуть використані знімки Sentinel-2, це пов'язано з поєднанням великого територіального охоплення, частих повторних зйомок і, як наслідок, систематичним отриманням повного покриття всієї Землі мультиспектральною зйомкою з високою роздільною здатністю. Оскільки, в порівнянні з Landsat, який має роздільну здатність до 30 метрів, обрані знімки мають роздільну здатність до 10 метрів, що є основною перевагою у використанні саме цих знімків.

Для порівняння, декілька прикладів характеристики:

Таблиця 2.3

#### Порівняння програм Sentinel-2: та Landsat

	Sentinel-2:	Landsat
Маса	1140 кг	1512 кг
Розміри	3,4 × 1,8 × 2,35 м	3 × 3 × 4,8 м
Потужність	1700 Вт	1351 Вт
Роздільна здатність	10 м	30 м
Відкритий доступ до знімків	Відкритий	Відкритий
Період повторного спостереження, доба	10	16
Ширина смуги зйомки, км	290	185

### **2.3. Розроблення технологічної схеми оцінювання динаміки змін озеленення**

Розрахунок індексу NDVI програмно розраховується за наступним алгоритмом: на вхід система отримує канали супутникового зображення (RED і NIR), далі відбувається перетворення зображення в двовимірний масив, після чого отримання інформації про проекції каналу, розрахунок NDVI і об'єднане перетворення масиву значень NDVI в канал NDVI.

Результатів даного алгоритму для подання повних обчислень недостатньо, так як в даній послідовності дій NDVI вважається в конкретному пікселі, в роботі ж увага приділяється просторовому об'єкту цілком. Тому використовують зональну статистику. Зональна статистика дозволяє аналізувати результати тематичної класифікації. Класифікація здійснюється за належністю пікселя до конкретного контуру землі сільськогосподарського призначення (ЗСХН). З можливості розрахунку використовуються підрахунок пікселів, підсумовування значень пікселів і визначення середнього значення NDVI в області, що відповідає контуру поля. Використовують два види растра: зональний і значень. На підставі растра значень, вираховується середнє значення пікселів входять до зональний растр. Вихідний растр включає в себе середнє значення кожної зони, присвоєне всім вихідним осередкам цієї зони.

Найчастіше розрахунок вегетаційного індексу вживається на основі серії різночасових знімків з заданим тимчасовим дозволом. Це дозволяє отримувати динамічну картину процесів зміни характеристик типів рослинності. Для цього використовуються тимчасові вегетаційні ряди, які представляють собою послідовність пікселів в різні моменти часу. Існують різні методи, пов'язані з аналізом вегетаційних рядів: метод половинної амплітуди, розкладання трендів, метод послідовного подвійного зростання, метод визначення фенологічних характеристик рослинності та ін.



Рис. 2.4 Оцінювання динаміки змін озеленення

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Для того, щоб на знімку знайти певну територію, необхідно визначити який саме індекс потрібно застосувати. Оскільки в роботі потрібно знайти озелененні території, то буде використовуватись індекс NDVI. Для обчислення даного індексу не потрібно ніяких додаткових даних і методик, крім безпосередньо самої космічної зйомки і знання її параметрів.

Щоб застосувати даний індекс, визначено яку саме програму буде використано для пошуку космічних знімків певної категорії. Найбільше підійшла програма Sentinel-2, оскільки вона є у відкритому доступі і нею можна безкоштовно скористатись. Також, у порівнянні з іншими програмами, дана містить високу просторову роздільну здатність. Роздільна здатність яких, становить до 10 метрів.

**РОЗДІЛ 3 ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ОЗЕЛЕНЕННЯ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ГІС**

### 3.1. Збір вихідних даних

Вихідними даними для оцінки динаміки зміни озеленення обраного населеного пункту, є знімки взяті за певний проміжок часу. В даній дипломній роботі, використаними будуть знімки Sentinel-2, оскільки вони є у відкритому доступі і не потребують додаткових витрат.

Тому для виконання роботи, були обрані такі знімки:

- 1) Знімок Sentinel-2, міста Київ за 4.05.2017 рік:



Рис.3.1 Знімок Sentinel-2 за 2017 рік

2) Знімок Sentinel-2, міста Київ за 2.05.2018 рік:

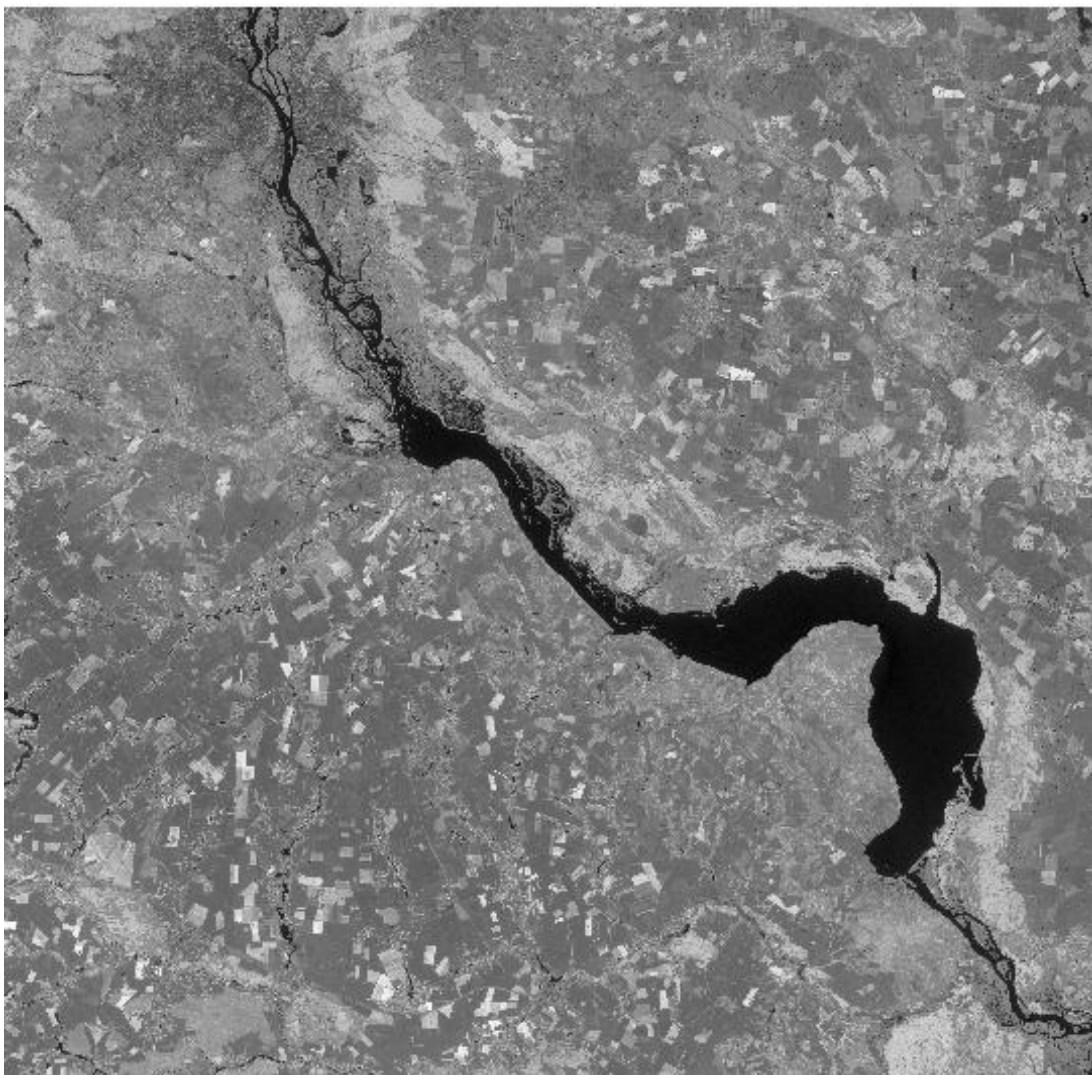


Рис.3.2 Знімок Sentinel-2 за 2018 рік

3) Знімок Sentinel-2, міста Київ за 19.05.2019 рік:



Рис.3.3 Знімок Sentinel-2 за 2019 рік

4) Знімок Sentinel-2, міста Київ за 24.05.2020 рік:

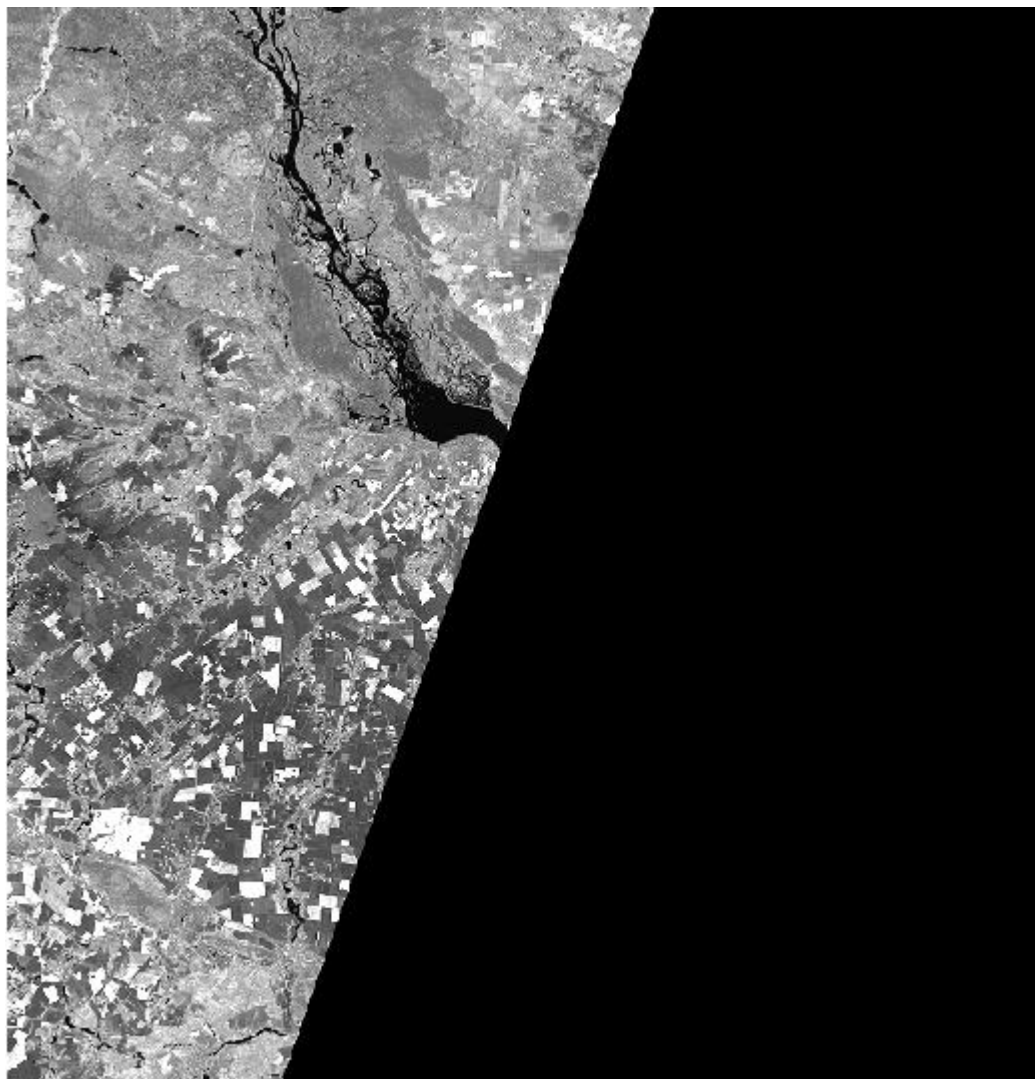


Рис.3.4 Знімок Sentinel-2 за 2020 рік

5) Знімок Sentinel-2, міста Київ за 21.05.2021 рік:

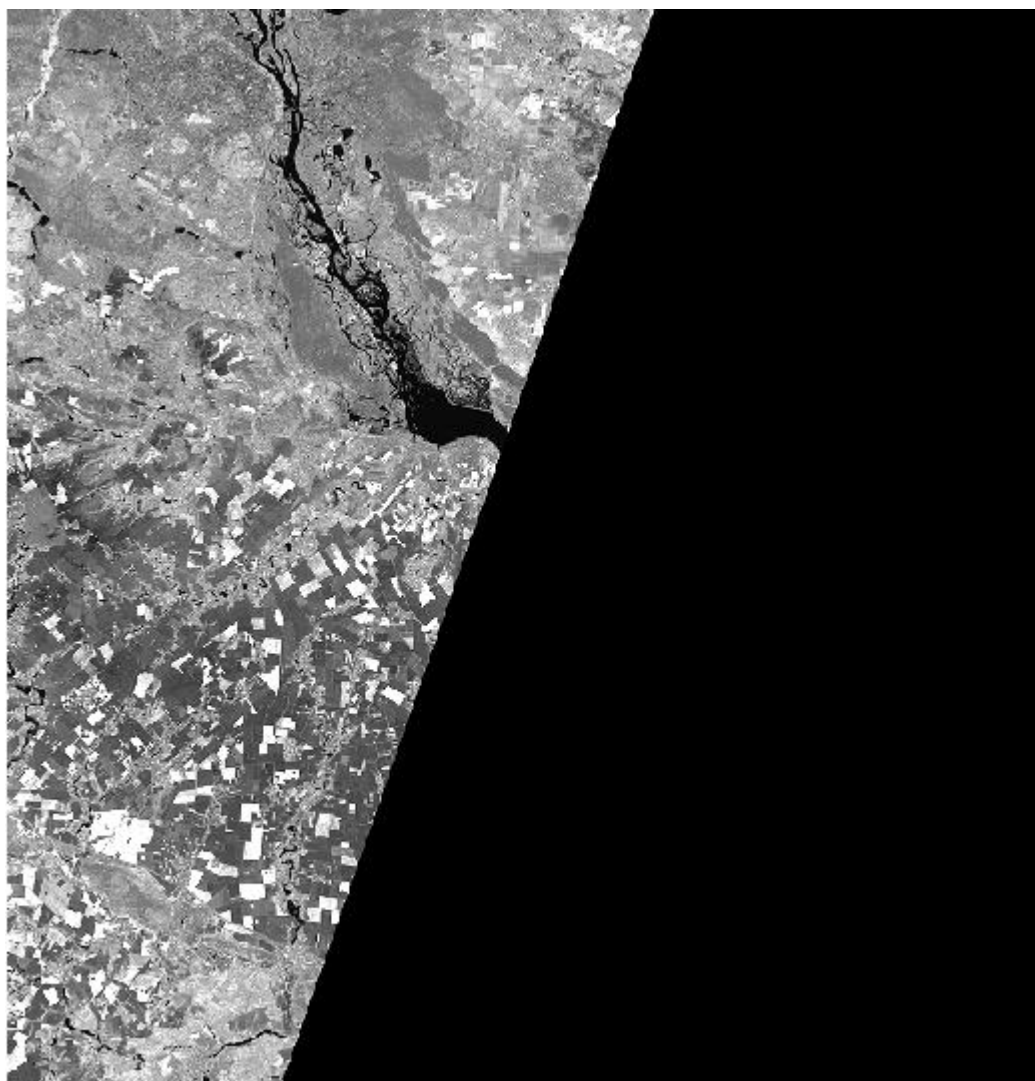


Рис.3.5 Знімок Sentinel-2 за 2021 рік

Знімки за 2019 – 2021 рік чудово підходять для виконання поставленої задачі, а от за 2017 – 2018 рік не зовсім задовільняють умови. Оскільки 4.05.2017 року та 2.05.2018 року при зніманні обраної території, була вища хмарність ніж за 2019 – 2021 рік, що не дає зовсім вірних результатів.

### 3.2. Розрахунок індексу NDVI в QGIS

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормалізований відносний індекс рослинності - простий кількісний показник кількості фотосинтетичний активній біомаси (зазвичай званий вегетаційним індексом). Один з найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, що використовують кількісні оцінки рослинного покриву.

Для розрахунку значення використовуються зображення з космічних супутників, а саме значення відображення в червоній області спектра (RED) і відображення в наближенні інфрачервоної області спектра (NIR). Розрахунок проводиться за такою формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}; \quad (3.6)$$

Для розрахунку NDVI використано 4-ий і 8-ий канал зображення супутника Sentinel-2. На вході надходять такі зображення в RED і NIR діапазоні.

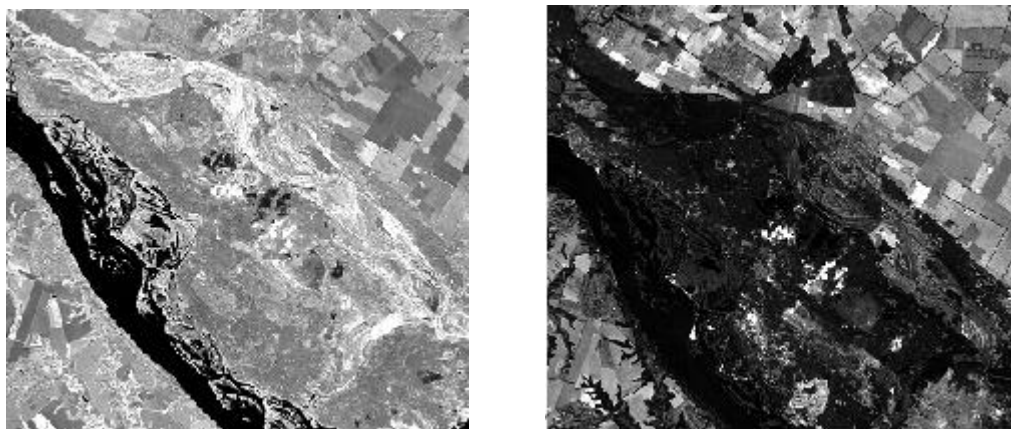


Рис.3.7 Зображення в RED і NIR діапазоні

За допомогою калькулятора растрів проводиться суміщення каналів як показано на малюнку нижче.

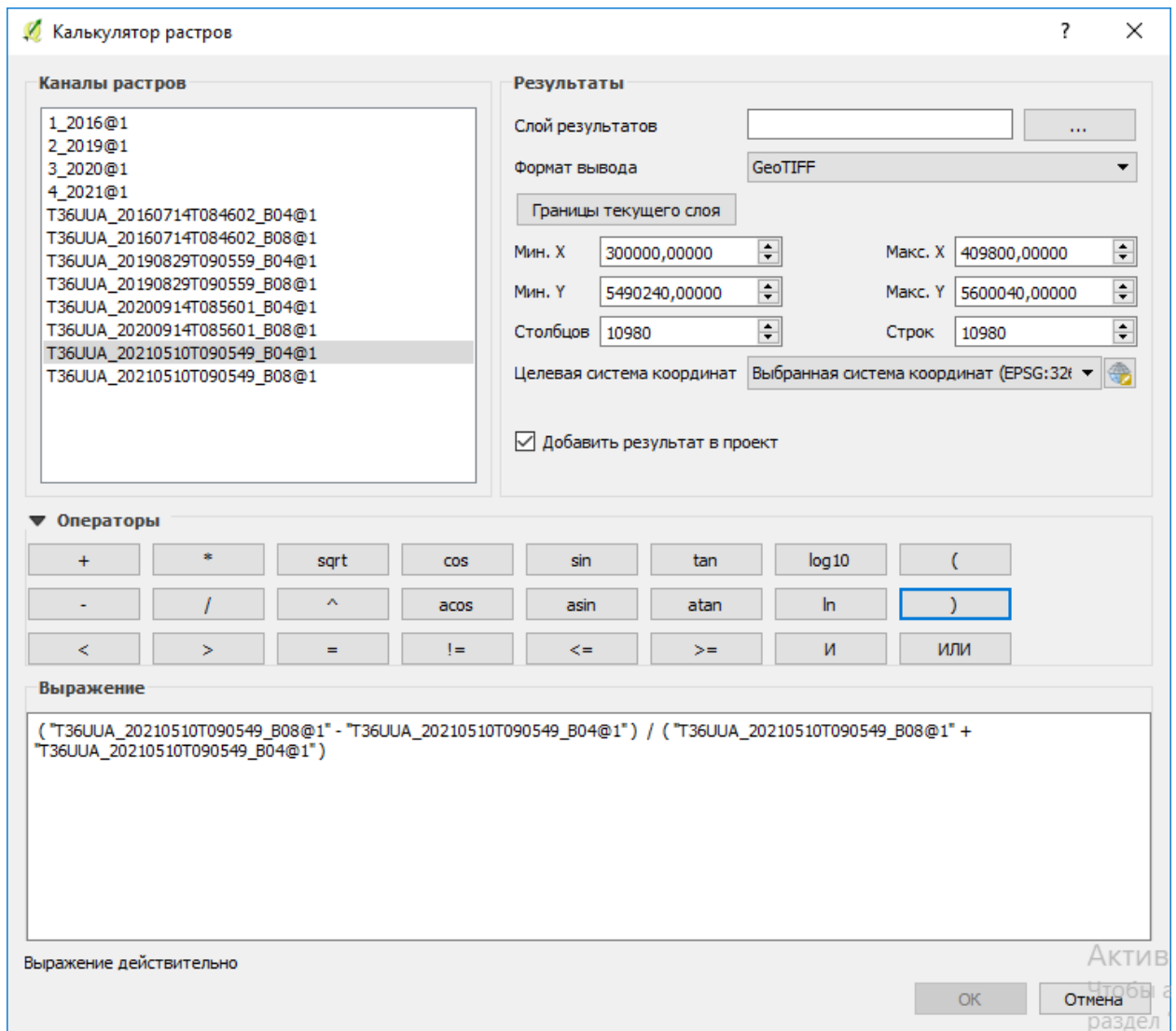


Рис.3.8 Калькулятор растрів

Далі виходить шар зображення, де значення в кожному пікселі коливається від -1 до 1. Відповідно, необхідно нормалізоване значення перевести в значення кольору. Для цього використовується наступна шкала:

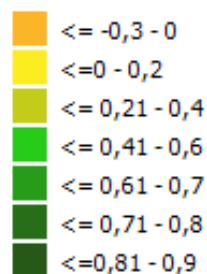


Рис.3.9 Значення кольору в кожному пікселі

Для того щоб застосувати дане трактування необхідно в стилі шару вказати відповідність кольорів для кожного із знімку наступним чином:

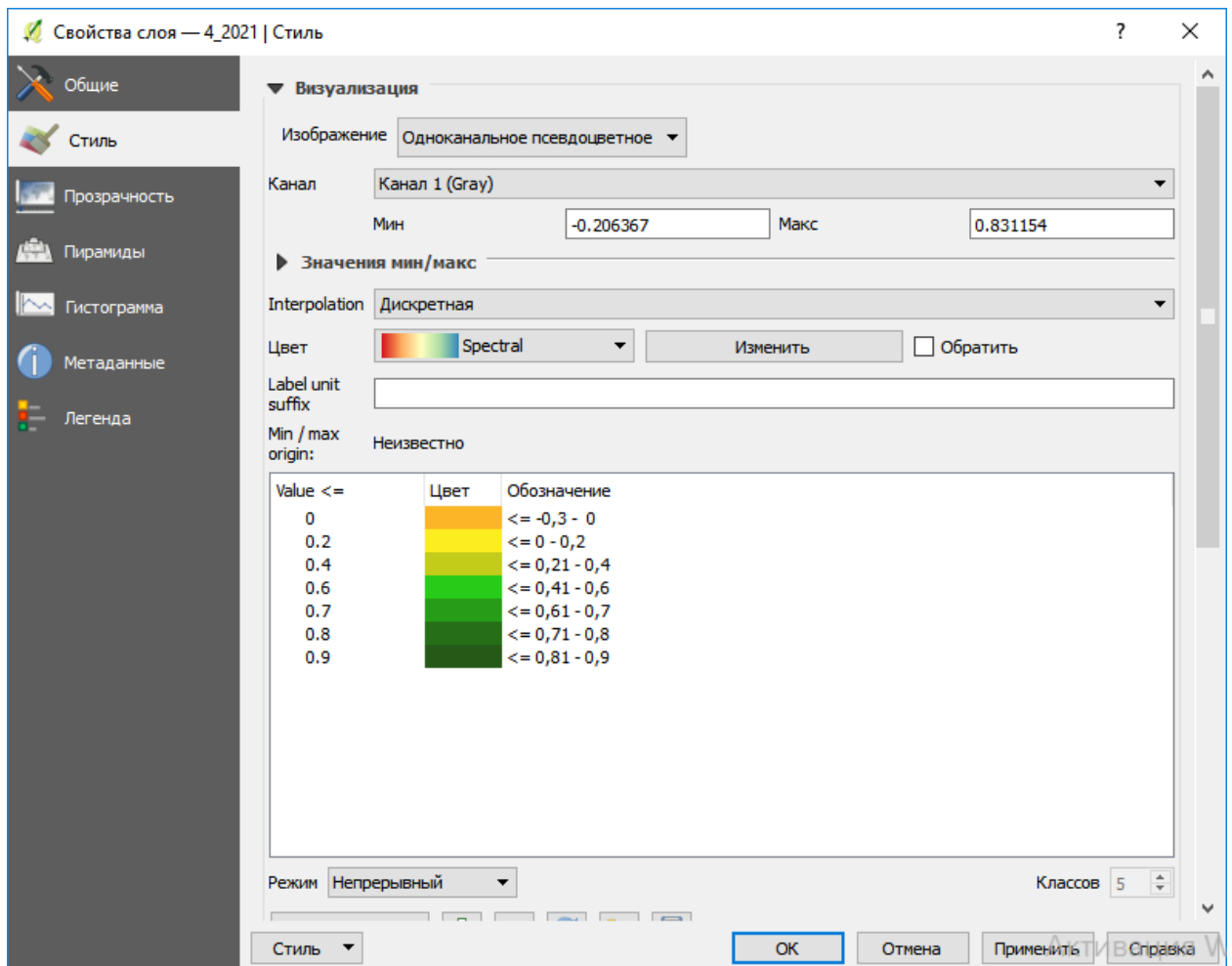


Рис.3.10 Внесения в стиль шару відповідність кольорів до пікселю

На виході отримано наступні зображення:

1) Зображення міста Київ за 04.05.2017 рік:

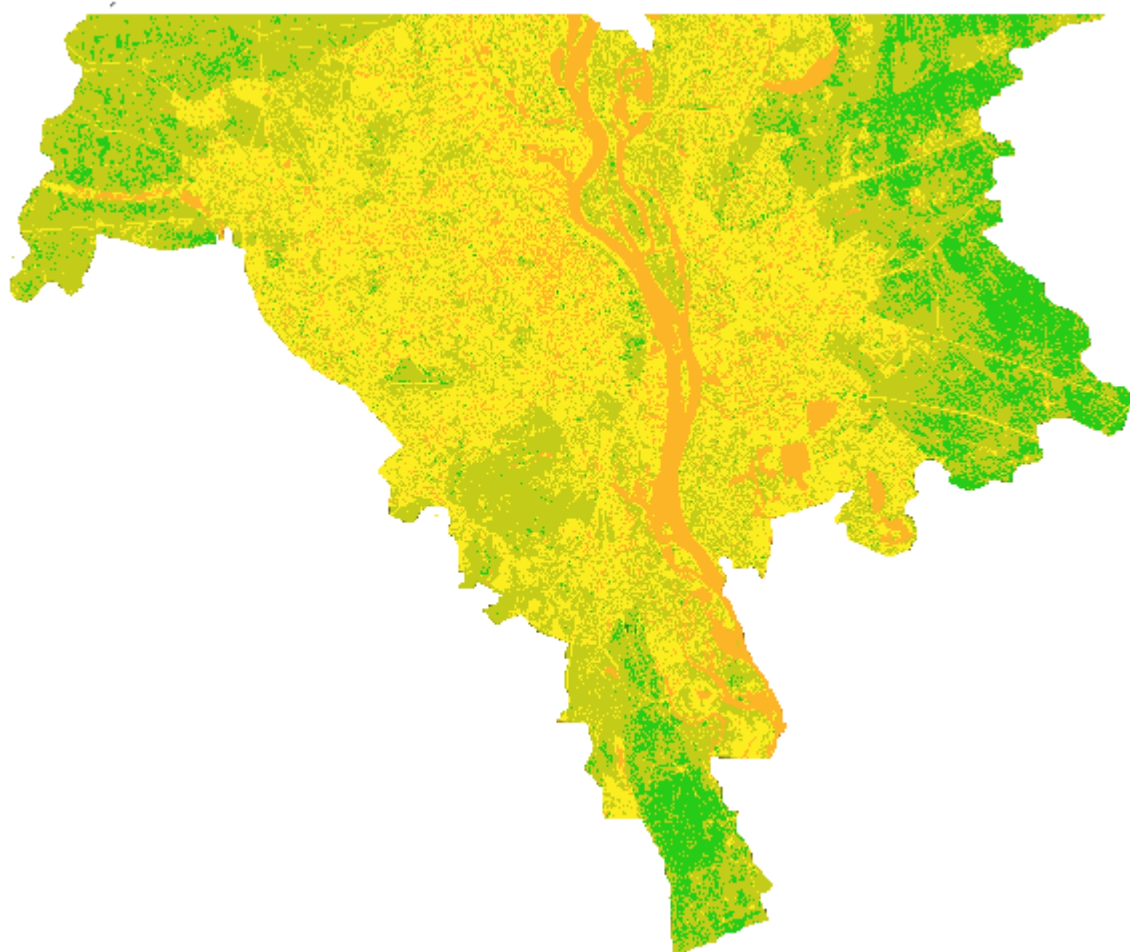


Рис.3.11 Зображення, що отримаємо після розрахунку індексу NDVI знімку за 2017 рік

2) Зображення міста Київ за 02.05.2018 рік:

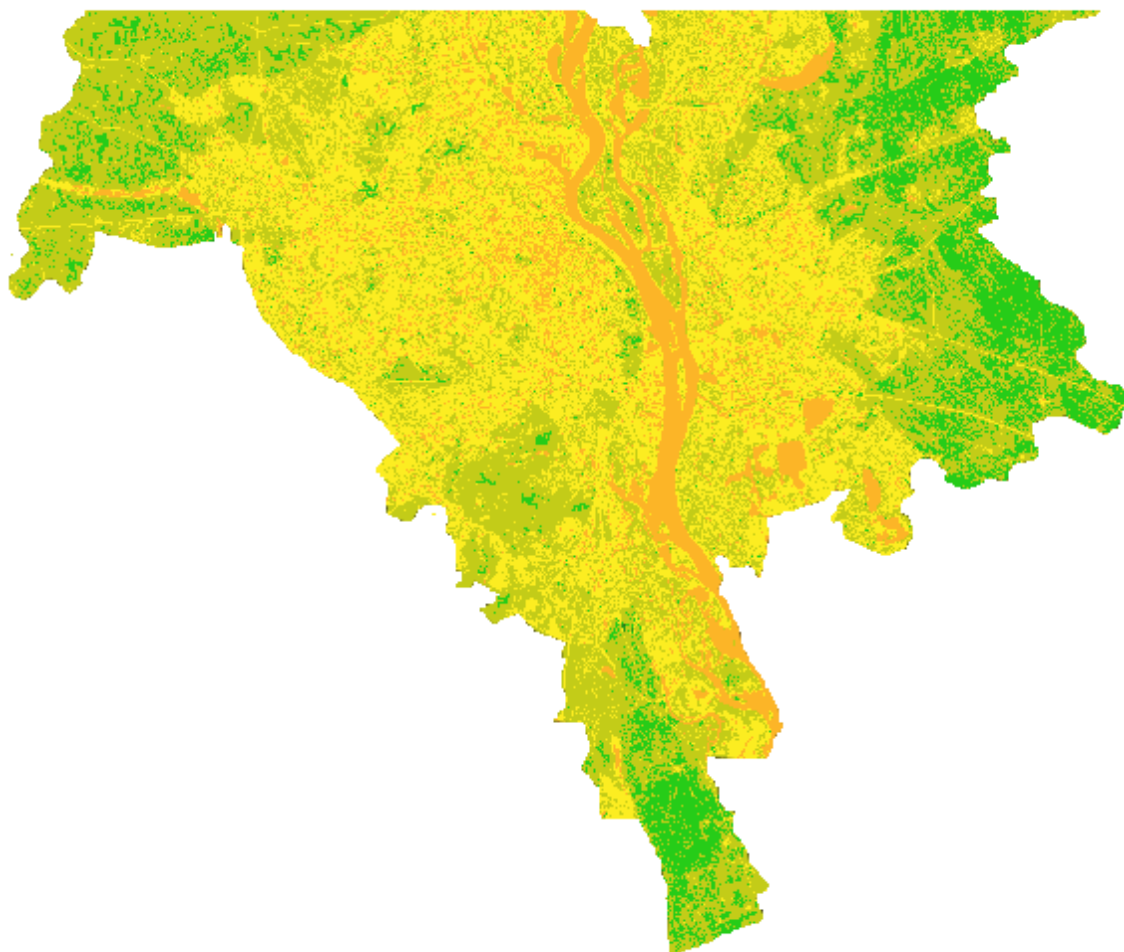


Рис.3.12 Зображення, що отримаємо після розрахунку індексу NDVI знімку за 2018 рік

3) Зображення міста Київ за 19.05.2019 рік:

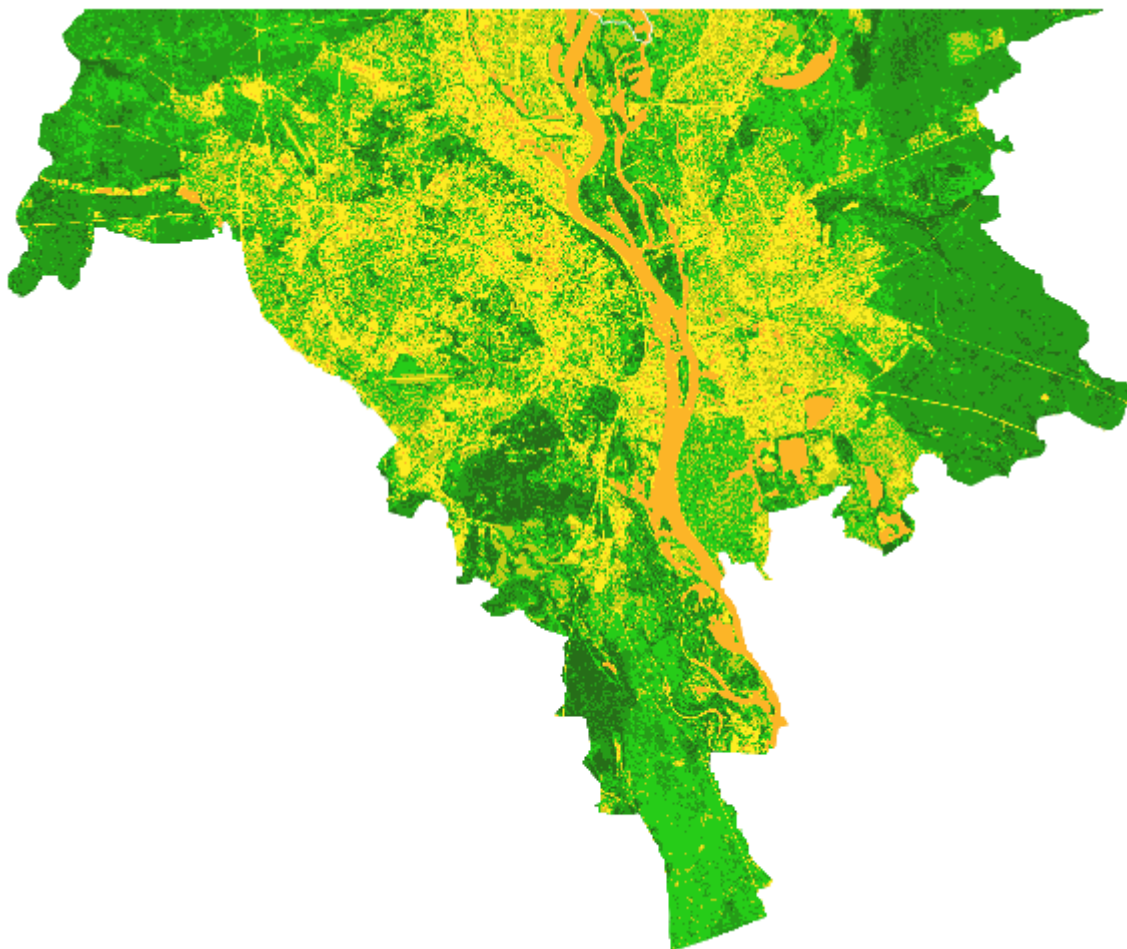


Рис.3.13 Зображення, що отримаємо після розрахунку індексу NDVI знімку за 2019 рік

4) Зображення міста Київ за 24.05.2020 рік:

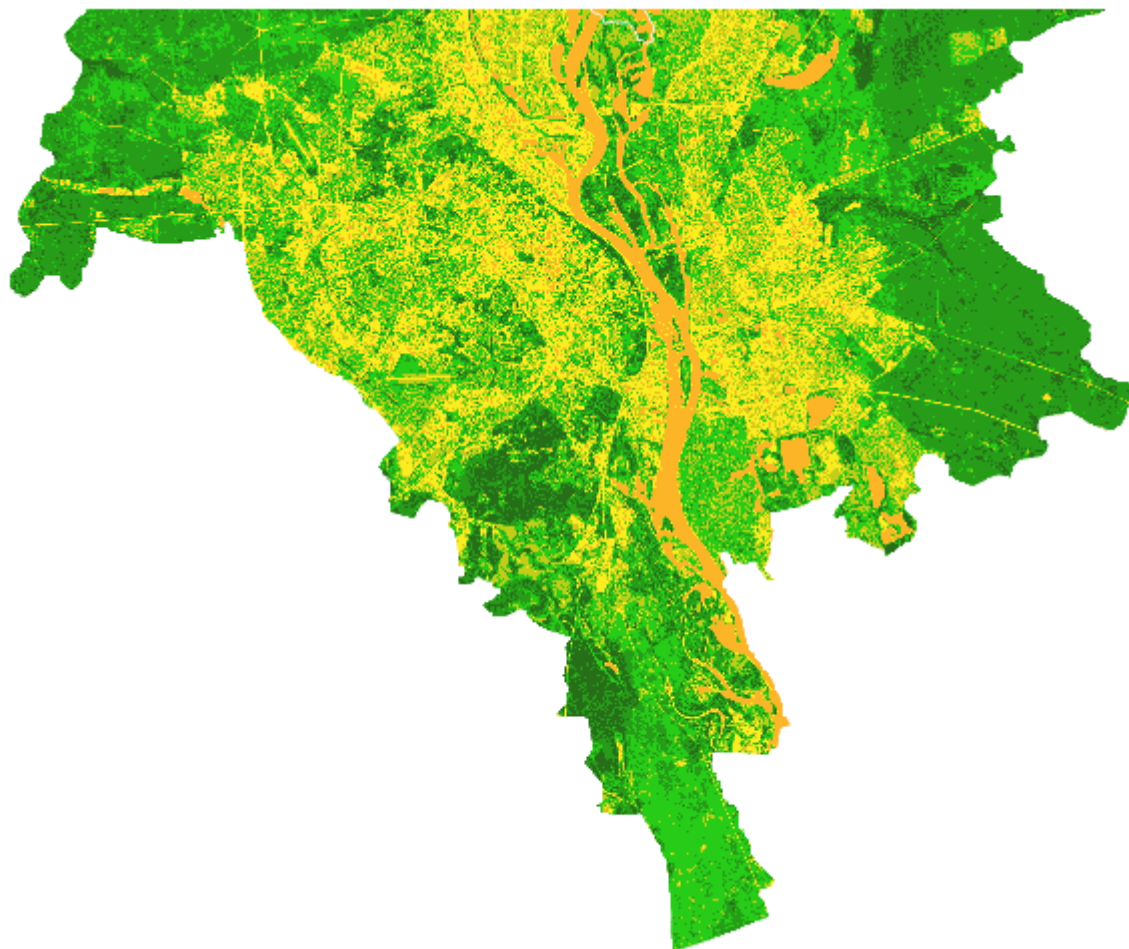


Рис.3.14 Зображення, що отримаємо після розрахунку індексу NDVI знімку за 2020 рік

5) Зображення міста Київ за 21.05.2021 рік:

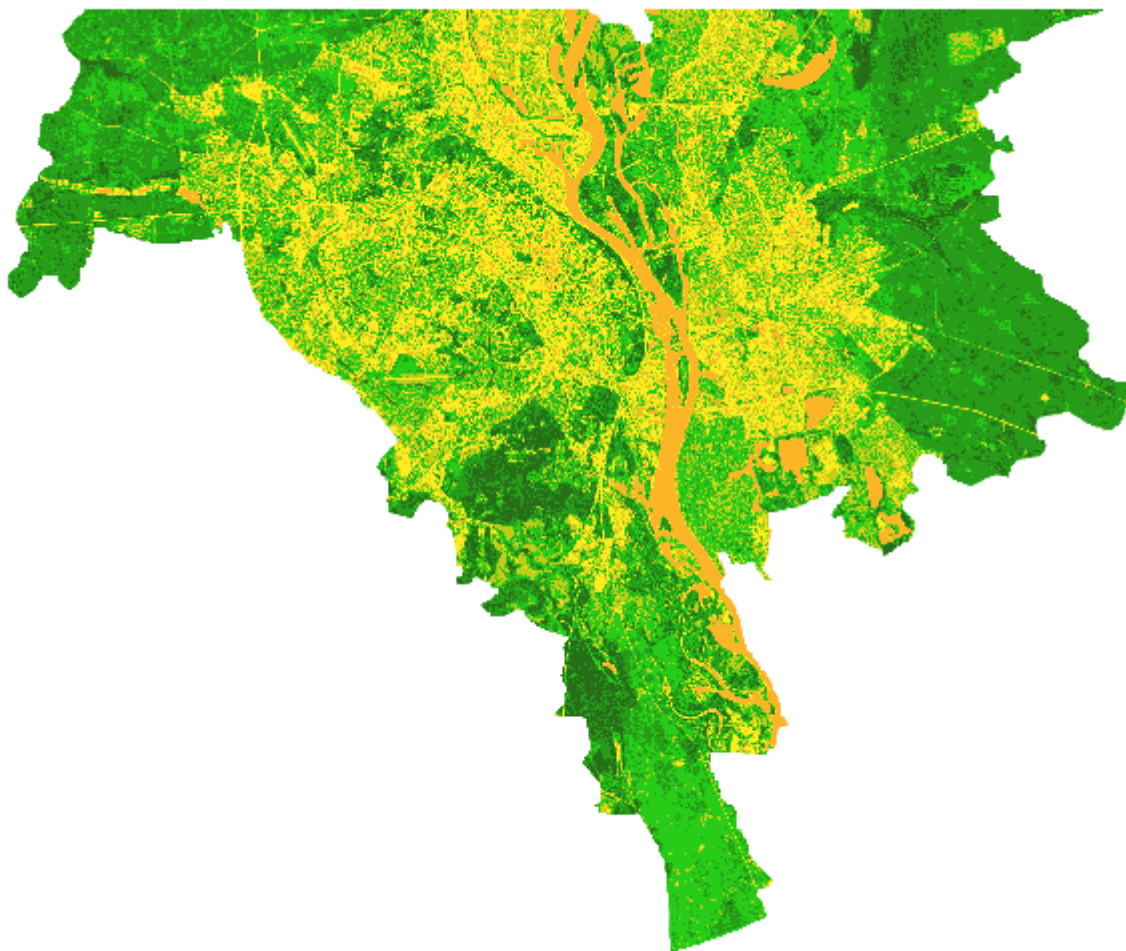


Рис.3.15 Зображення, що отримаємо після розрахунку індексу NDVI знімку за 2021 рік

### 3.3. Аналіз динаміки змін озеленення з використанням ГІС в ГІС QGIS

Для початку класифікація растру. А саме для значень індексу NDVI призначаємо єдині значення. Тобто, значення будуть виглядати таким чином:

-0,3 – 0 = призначаємо єдине число 1;

0 – 0,2 = призначаємо єдине число 2;

0,21 – 0,4 = призначаємо єдине число 3;

0,41 – 0,6 = призначаємо єдине число 4;

0,61 – 0,7 = призначаємо єдине число 5;

0,71 – 0,8 = призначаємо єдине число 6;

0,81 – 0,9 = призначаємо єдине число 7,

Після чого отримано растр, де значення пікселів будуть від 1 до 7.

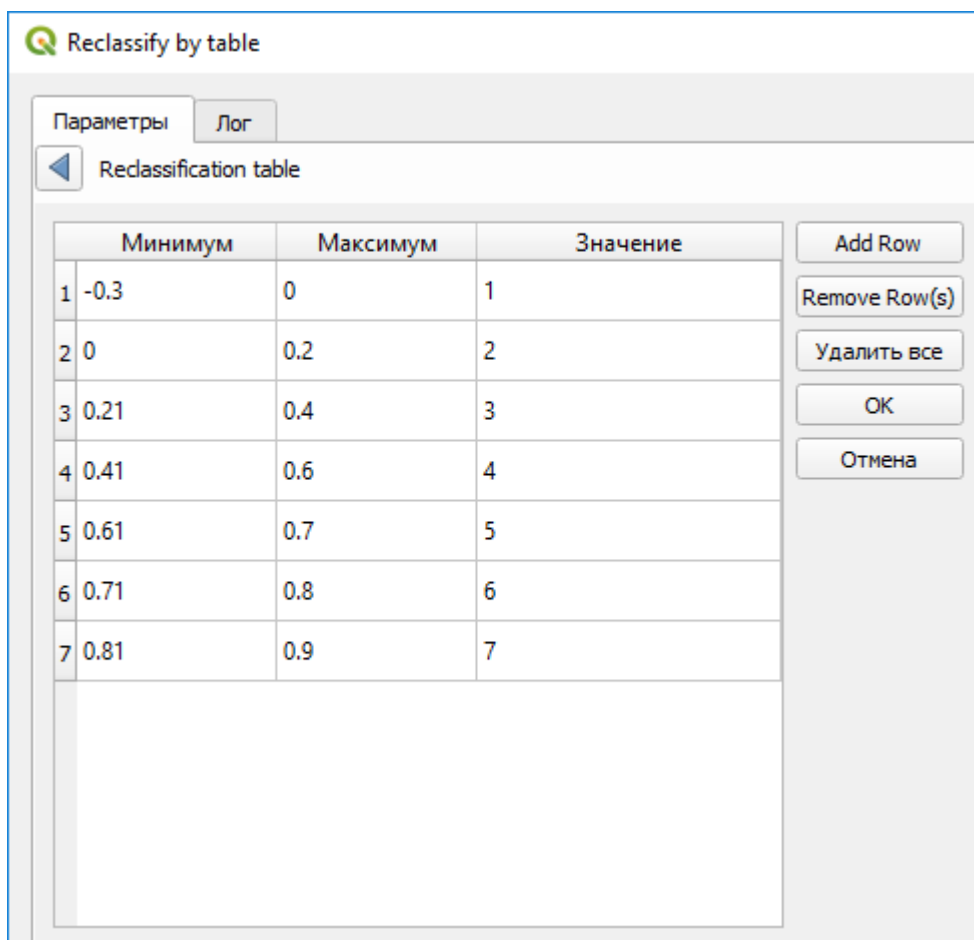


Рис. 3.16 Призначення єдиних значень пікселів від 1 до 7.

Тобто:

- 1 – вода, штучні матеріали;
- 2 – відкритий ґрунт;
- 3 – трав'яна рослинність;
- 4 – розріджена рослинність;
- 5 – менш густа рослинність;
- 6 – густа рослинність;
- 7 – дуже густа рослинність.

Наступним етапом є: розрахунок статистики для пікселів з різними значеннями.

Таблиця 3.17

Результати розрахунку статистики, (м<sup>2</sup>)

	2017	2018	2019	2020	2021
1	18392000	18224800	17472400	17472400	17556000
2	345268000	343679600	183920000	189772000	187264000
3	80256000	81092000	10032000	9196000	8778000
4	73568000	74404000	54340000	57684000	60192000
5	3427600	3678400	39375000	42636000	45144000
6	1672000	1755600	68552000	70224000	73568000
7	2508000	3344000	32604000	37620000	39929000

Площа для оцінки озеленення м. Київ: 839 000 000 м<sup>2</sup>

Площа зелених насаджень на 2019 рік: 406 295 400 м<sup>2</sup>

Площа зелених насаджень на 2020 рік: 424 604 400 м<sup>2</sup>

Площа зелених насаджень на 2021 рік: 432 431 000 м<sup>2</sup>

В результаті чого, можна зазначити, що в період з 2019 на 2022 рік, площа озеленення зросла на 18 309 000 м<sup>2</sup>, а в період з 2020 на 2021 рік на 7 826 600 м<sup>2</sup>.

Після чого, порівняно дані за різні роки.



Рис.3.18 Результати розвитку зелених насаджень м. Київ

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Було зібрано вихідні матеріали, для оцінки динаміки озеленення населеного пункту. А саме, знімки Sentinel-2, оскільки вони є у вільному доступі і з характеристикою, яка задовільняє параметри необхідні для даної роботи. Після чого, для розрахунку потрібного індексу NDVI, обрані знімки завантажено в QGIS.

За допомогою програми QGIS розраховано індекс NDVI, в такій послідовності:

- 1) Завантаження знімків Sentinel-2;
- 2) Використано калькулятор растрів;
- 3) Класифікація знімків.

Після чого було отримано статистику по растру. Дані різних років порівняно та зроблено графік. Слід врахувати те, що знімки за 04.05.2017 рік та за 02.05.2018 рік не слід враховувати до кінцевого висновку. Оскільки знімки зроблені в даних числах, були зроблені не зовсім чітко, у зв'язку з погодними умовами. При зробленні знімків за 2017 та 2018 рік була вища хмарність ніж за 2019 – 2021 рік. Через що, при обробленні даних знімків, інформація буде не зовсім вірна. В результаті чого, взявши результати оцінки за 2019 – 2021 рік можна зробити висновок, що з кожним роком, зелених насаджень на території м. Київ стає більше.

## ВИСНОВОК

В ході виконання дипломної роботи було оцінено динаміку зміни озеленення міста Києва з використанням ГІС.

Виконано всі поставлені завдання, зокрема:

проаналізовано нормативно-методичне забезпечення, яке регулює питання озеленення населених пунктів, результат подано у вигляді UML-діаграми; виконано огляд сучасних інформаційних засобів оцінювання рівня озеленення населених пунктів, в тому числі з використанням ГІС-технологій; виконано огляд основних вегетаційних індексів, результат подано у вигляді UML-діаграми; розроблено UML – діаграму технології оцінювання озеленення населених пунктів на основі індексу NDVI з використанням ГІС та космічних знімків; апробовано технологію оцінювання динаміки зміни озеленення з використанням ГІС та космічних знімків на прикладі м. Київ.

В результаті проведеного дослідження зроблено висновки, що протягом останніх трьох років, а саме з 2019 по 2021 рік, площа зелених насаджень (та/або їх якість) збільшилась. Що позитивно вплине на навколишнє середовище.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про зелені насадження міст та інших населених пунктів» - Стаття 12.
2. Закон України «Про благоустрій населених пунктів» - Стаття 28.
3. Закон України «Про мораторій на видалення зелених насаджень на окремих об'єктах благоустрою зеленого господарства м. Києва» - Стаття 121.
4. Постанова Кабінету Міністрів «Про затвердження Порядку видалення дерев, кущів, газонів і квітників у населених пунктах України».
5. Постанова Кабінету Міністрів «Про затвердження Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України».
6. Кодекс України про адміністративні правопорушення «Відповідальність за знищення або пошкодження зелених насаджень, дерев, чагарників, газонів, квітників та інших об'єктів озеленення».
7. Державні будівельні норми: ДБН Б.2.2-12:2019.
8. Державні будівельні норми: ДБН Б.2.2- 5:2011.
9. Санітарні класифікації підприємства.
10. Геоінформаційні системи та дистанційне зонування. Дубінін М. О.
11. Замуч С.С., Якубайлік О.Е.. Програмне забезпечення та технології геоінформаційних систем: Учеб. Посібник / Краснояр. Держ. Ун-т. Красноярськ, 1998.
12. Трифонова Т.А., Міщенко М.В., Краснощеков А.Н. Геоінформаційні системи та дистанційне зондування в екологічних дослідженнях: Навчальний посібник для вузів. - М.: Академічний проект, 2005. 352 с.
13. Містобудування та територіальне планування. Київський національний університет будівництва і архітектури. Сучасні матеріали та методи захисту від шуму в умовах міської забудови. Семеняко С.О. 2015. – 372 с.
14. Коваленко М.Г., Київський національний університет будівництва і архітектури. Функції міських зелених насаджень та їх нормування. Містобудування та територіальне планування, 2015. 194-201 с.

15. Інформаційні системи і технології: Навч. Посібник для студ. вищ. навч. закл. / [С.Г. Карпенко, В.В. Попов, Ю.А. Тарновський, Г.А. Шпортюк.].
16. Кучерявий В.П. Озеленення населених місць – Львів: Світ, 2005.
17. Космічні знімки. URL: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
18. Стаття про корисність зелених насаджень для населених пунктів. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2017/07/20/legeni-megapolisiv-chomu-mistam-potribni-zeleni-nasadjhennya/>
19. Геопортал Тернопільської області : <https://gis.tmrada.gov.ua/portal/home/>
20. Розрахунок індексу NDVI. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html>