

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**  
Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми з використанням космічних  
знімків

Миколайчук Катерина Андріївна

Київ – 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

проф., д.т.н. Карпінський Ю.О.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми з використанням  
космічних знімків**

Виконала студентка групи ГСТ-23

193 «Геодезія та землеустрій»

(спеціальність)

Геоінформаційні системи і технології

(спеціалізація)

Миколайчук Катерина Андріївна

(ПІБ)

Керівник: Нестеренко О.В., доц., к.т.н.

*Ідентичність підтверджую*

Київ – 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: Геоінформатики і фотограмметрії

Освітній рівень: «магістр за ОПП»

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Спеціалізація: Геоінформаційні системи і технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Декан факультету

\_\_\_\_\_ доцент., к.т.н. Нестеренко О. В.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я  
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Миколайчук Катерина Андріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** «Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми з використанням космічних знімків»

затверджена наказом ректора КНУБА № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

**2. Керівник роботи** доц., к.т.н. Нестеренко Олена Вікторівна

( прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**3. Строк подання студентом роботи до захисту:** 04 листопада 2024 р.

**4. Зміст пояснювальної записки за розділами:**

Вступ

Розділ 1. Аналіз урбанізаційних процесів та їх впливу на екосистеми.

Розділ 2. Аналіз основних методів оцінки впливу урбанізації на екосистеми.

Розділ 3. Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми.

Висновки

Список використаної літератури

**5. Графічний матеріал за розділами**

Розділ 1 Види впливу урбанізації на природні середовища (зниження біорізноманіття, забруднення повітря та води, ерозія ґрунтів); Структурна схема складників урбанізаційного процесу; Склад екосистеми;

Розділ 2: Схема принципу роботи дистанційного зондування Землі за допомогою супутників; Дослідження динаміки заростання верхів'я Київського водосховища за матеріалами дешифрування КЗ Landsat; Карта розподілу країн світу за величиною екологічного сліду

Розділ 3: Космічні знімки досліджуваної території. Порівняння ландшафтів до та після урбанізації з використанням супутникових даних; Відсоткове зменшення природних екосистем на досліджуваній території; Основні результати дослідження: вплив урбанізації на природу та потенційні наслідки.

## 7. Календарний план виконання роботи:

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту
Розділ 1. Аналіз урбанізаційних процесів та їх впливу на екосистеми. Поняття урбанізації та її наслідки для природних екосистем. Види екосистем і їх вразливість до урбанізаційних процесів. Нормативно-правова база дослідження. Аналіз наукових досліджень впливу урбанізації на екосистеми.	03.10.2024
Розділ 2. Аналіз основних методів оцінки впливу урбанізації на екосистеми. Екологічні індекси. Основи дистанційного зондування Землі. Космічні знімки як інструмент оцінки екосистемних змін. Польові дослідження. Соціально-економічні дослідження. Оцінка екологічного сліду. Застосування ГІС в оцінці впливу урбанізації на природні екосистеми	28.10.2024
Розділ 3. Вибір території дослідження та джерела космічних знімків. Аналіз змін ландшафту на обраній території. Оцінка масштабу впливу урбанізації на біорізноманіття та природні ресурси. Пропозиції щодо зменшення негативного впливу урбанізації. результат геоінформаційного моделювання впливу урбанізації на природні екосистеми дослідної території. Висновки до розділу 3. Загальні висновки.	18.11.2024
Складання резюме та остаточне оформлення роботи	30.11.2024
Подання роботи на перевірку на плагіат	25.11.2024
Подання роботи на рецензування	10.12.2024
Попередній захист роботи на кафедрі	06.12.2024

## 8. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			

9. Дата видачі завдання\_ 08 серпня 2024 р.\_\_\_\_\_

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Карпінський Ю.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ Нестеренко О.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Студент \_\_\_\_\_ Миколайчук К.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

<b>РЕЗЮМЕ (summary)</b> <i>До атестаційної випускної роботи студентки:</i>		<b>Миколайчук Катерина Андріївна</b>	
<i>Назва ВНЗ</i>	Київський національний університет будівництва і архітектури		
<i>Тема</i>	Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми з використанням космічних знімків		
<i>Освітній ступінь</i>	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
<i>Факультет</i>	Геоінформаційних систем та управління територіями		
<i>Кафедри</i>	Геоінформатики та фотограмметрії		
<i>Спеціальність</i>	193 Геодезія та землеустрій		
<i>Спеціалізація</i>	Геоінформаційні системи і технології		
<i>Керівник</i>	Нестеренко Олена Вікторівна, к.т.н, доцент		
<i>Обсяг роботи</i>	<i>пояснювальна записка, стор.</i>	<i>розділів</i>	<i>креслень формату А4</i>
	73	3	
<i>Розділ 1</i>	Визначено поняття урбанізації, її причини та наслідки для природних екосистем. Проаналізовано різні види екосистем і їх вразливість до урбанізаційних процесів. Зокрема, досліджено, як урбанізація впливає на водні, лісові та агроекосистеми. Також розглянуто нормативно-правову базу, яка регулює вплив урбанізації на екосистеми, та проаналізовано наукові дослідження, присвячені цій проблематиці. Підсумком розділу стало визначення основних екологічних ризиків урбанізації.		
<i>Розділ 2</i>	Розглянуто екологічні індекси як інструмент кількісного аналізу екосистемних змін. Особливу увагу приділено технологіям дистанційного зондування Землі, які дозволяють отримувати актуальні дані про зміни в екосистемах на великих територіях. Описано використання космічних знімків, методи польових досліджень, соціально-економічний аналіз та оцінку екологічного сліду. Також детально розглянуто застосування ГІС для інтеграції й аналізу просторових даних.		
<i>Розділ 3</i>	Проведено практичне дослідження впливу урбанізації на природні екосистеми. Охарактеризовано об'єкт дослідження та обґрунтовано вибір космічних знімків. Реалізовано методіку оцінки змін в екосистемах із використанням класифікаційного аналізу зображень. Також запропоновано практичні заходи зі зменшення негативного впливу урбанізації, зокрема через удосконалення екологічного моніторингу та управління територіями.		
<i>Висновки по роботі:</i>	У результаті проведеного дослідження встановлено, що урбанізація негативно впливає на природні екосистеми, спричиняючи їхню деградацію. Використання сучасних методів, таких як дистанційне зондування, ГІС та екологічні індекси, дозволяє отримати достовірні дані для аналізу змін і розробки ефективних заходів зі зменшення негативного впливу урбанізації. Запропоновані рекомендації спрямовані на вдосконалення екологічного управління та забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій.		
<b>Ключові слова:</b> урбанізація, природні екосистеми, екологічні індекси, ландшафти, біорізноманіття дистанційне зондування земель, екологічний слід, ГІС. <b>Keywords:</b> urbanization, natural ecosystems, ecological indices, landscapes, biodiversity, remote land sensing, ecological footprint, GIS.			

Укладач: \_\_\_\_\_ / Миколайчук К. А./

Керівник: \_\_\_\_\_ / Нестеренко О.В./

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024

## Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Аналіз урбанізаційних процесів та їх вплив на екосистеми .....	12
1.1 Поняття урбанізації та її наслідки для природних екосистем. ....	12
1.2. Види екосистем і їх вразливість до урбанізаційних процесів .....	16
1.3. Нормативно-правова база дослідження. ....	17
1.4. Аналіз наукових досліджень впливу урбанізації на екосистеми.....	22
Висновок до розділу 1:.....	24
Розділ 2. Аналіз основних методів оцінки впливу урбанізації на екосистеми.....	26
2.1 Екологічні індекси.....	26
2.2 Основи дистанційного зондування Землі. Космічні знімки як інструмент оцінки екосистемних змін. ....	31
2.3 Польові дослідження. Соціально-економічні дослідження. Оцінка екологічного сліду .....	36
2.4 Застосування ГІС в оцінці впливу урбанізації на природні екосистеми .....	42
Висновок до розділу 2:.....	45
Розділ 3. Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми.....	47
3.1. Характеристика об'єкта досліджень. Вибір космічних знімків .....	47
3.2. Дослідна реалізація оцінки впливу урбанізації на природні екосистеми.....	52
3.3. Пропозиції щодо зменшення негативного впливу урбанізації на природні екосистеми.....	65
Висновки: .....	69
Список використаної літератури .....	71
[Додаток А] .....	74
[Додаток Б].....	75

## Вступ

З розвитком людської цивілізації та науково-технічного прогресу проблеми відносин між природою та суспільством постійно загострюються. різке збільшення за останнє сторіччя обсягів промислового та сільськогосподарського виробництва, розвиток транспорту, енергетики, хімізації, зростання урбанізації негативно впливають на природне середовище.

Тому серед негативних наслідків науково-технічного прогресу дедалі більшого розмаху набуває забруднення атмосферного повітря, водоймищ, деградація ґрунтового покриву, знищення запасів природних ресурсів, порушення стабільності екологічних систем та багато інших.

**Мета дослідження** полягає в оцінці впливу урбанізації на природні екосистеми за допомогою космічних знімків. Дослідження спрямоване на виявлення змін в земельному покритті, біорізноманітті та екосистемах. Використання космічних технологій дозволяє отримувати точні дані про зміни в природному середовищі, що забезпечує можливість моніторингу і аналізу екологічних наслідків урбанізації на різних територіях.

**Актуальність дослідження** обумовлена кількома факторами:

У світі спостерігається швидке зростання міського населення, яке вже перевищує 50%. Це призводить до суттєвих змін у використанні земель, зменшення площі природних середовищ і втрати біорізноманіття.

Урбанізація викликає серйозні екологічні проблеми, такі як забруднення повітря і води, зміна клімату, деградація ґрунтів та зменшення природних ресурсів. Це ставить під загрозу не лише природні екосистеми, а й здоров'я населення.

В якості **вихідних даних** для роботи, є космічні знімки, що знаходяться у відкритому доступі, та share-file дослідної території.

Урбанізація є однією з найбільш важливих і водночас суперечливих тенденцій сучасності. Швидке зростання міських територій стало невід'ємною складовою соціально-економічного розвитку багатьох країн, але це явище також несе серйозні екологічні виклики. За даними ООН, до 2050 року понад 68% світового населення буде проживати в містах, що свідчить про безпрецедентний масштаб урбанізації. З

кожним роком розширення міст і зростання інфраструктури зумовлюють збільшення тиску на природні ресурси, зміну ландшафтів та деградацію екосистем, що стає одним з основних чинників глобальної екологічної кризи. Ці процеси негативно впливають на біорізноманіття, якість повітря, водний баланс, а також здатність екосистем забезпечувати життєво важливі послуги, такі як очищення води та повітря, регулювання клімату і підтримка життя для багатьох видів флори та фауни.

Урбанізація - це складний історичний, суспільно-економічний, демографічний та екологічний процес перетворення ландшафтних екосистем (природних лісових, лучних, степових, водних і штучних - сільськогосподарських) під впливом розростання міст. Вона супроводжується швидкою концентрацією населення, засобів виробництва, зв'язку і комунікації, глибокою деформацією структурних і функціональних властивостей природних екосистем (рослинного і тваринного світу, ґрунтів, атмосферного повітря, продуктивності й біотичного кругообігу тощо), поглинанням великої кількості речовин, енергії та інформації, потужним міжекосистемним речовинно-енергетичним та інформаційним обміном, високим ступенем забруднення довкілля та інше.

Зміна природних екосистем під впливом урбанізації є багатоаспектним явищем, яке вимагає глибокого аналізу та оцінки. У цьому контексті супутникові технології надають безпрецедентні можливості для моніторингу змін у землекористуванні та аналізу впливу людської діяльності на довкілля.

Особливо важливою є проблема вивчення взаємозв'язку між урбанізацією та станом природних екосистем у контексті пошуку збалансованого підходу до міського розвитку. Із зростанням міст дедалі частіше стикаються з необхідністю вирішення питань щодо збереження природних зон та екосистем. Урбанізація без належного планування може призвести до втрати цінних природних ресурсів, забруднення водних і повітряних ресурсів та деградації біологічного різноманіття. Зміни, що відбуваються на ландшафті, не обмежуються лише міськими зонами, а зачіпають і прилеглі території, де часто відбувається порушення природних процесів. Урбанізація може вплинути на водоносні горизонти, змінити

гідрологічний режим річок, знизити доступність води для сільськогосподарських і природних потреб.

Розуміння впливу урбанізації на екосистеми є важливим для розробки стратегій сталого розвитку та збереження природних ресурсів. Це дозволить забезпечити баланс між розвитком міст і збереженням навколишнього середовища.

Цілком очевидною стала необхідність активної боротьби з цими явищами, бо вони загрожують життю людей. Надзвичайно важливою проблемою сьогодення з цієї точки зору є насування екологічної кризи, а за нею й екологічної катастрофи.

Останні десятиліття були відзначені значним прогресом у розвитку технологій дистанційного зондування Землі, що дозволяє значно підвищити точність і деталізацію даних про стан навколишнього середовища. Завдяки супутниковим знімкам з високою просторовою роздільною здатністю стало можливим здійснювати моніторинг урбанізованих територій та їхнього впливу на природні зони в реальному часі. Це особливо важливо для вивчення динамічних процесів, таких як зростання міст, яке часто відбувається стрімко і без належного планування. Такі методи дозволяють оцінити зміну типів землекористування, виявити території, які піддаються деградації, і на основі отриманих даних розробити заходи для пом'якшення негативних наслідків урбанізації. Використання супутникових знімків дозволяє не лише моніторити поточний стан територій, але й передбачати майбутні тенденції, моделювати сценарії розвитку, що базуються на різних варіантах управління міськими та природними ресурсами. Це, у свою чергу, може сприяти збереженню біорізноманіття, зниженню ризиків екологічних катастроф та забезпеченню ефективного управління територіями.

Застосування супутникових технологій дозволяє вирішувати такі важливі завдання, як оцінка змін водного балансу, відстеження змін лісового покриву та інших екосистем. Моніторинг змін у річках і водних системах, спричинених урбанізацією, допомагає оцінити ризики затоплення, деградації водоносних горизонтів, а також зміни в якості та кількості водних ресурсів.

Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми є критично важливою не лише для розуміння екологічних змін, але й для розробки ефективних заходів із

захисту навколишнього середовища. Важливим аспектом є інтеграція отриманих результатів у процеси просторового планування, управління природними ресурсами та розробку екологічно сталих рішень. Завдяки аналізу супутникових знімків можливо ідентифікувати найбільш вразливі зони, розробити стратегії зменшення негативного впливу урбанізації та підвищити ефективність заходів щодо захисту екосистем.

Таким чином, поєднання даних дистанційного зондування та сучасних геоінформаційних систем є важливим інструментом для оцінки впливу урбанізації на екосистеми та розробки стратегії збереження природних територій.

## Розділ 1

# Аналіз урбанізаційних процесів та їх вплив на екосистеми

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконала		Миколайчук К.А.			Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми з використанням космічних знімків	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірила		Нестеренко О.В.					11	13
Керівник		Нестеренко О.В.				КНУБА, група ГСТм-23		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						

## Розділ 1. Аналіз урбанізаційних процесів та їх вплив на екосистеми

### 1.1 Поняття урбанізації та її наслідки для природних екосистем.

Урбанізація – одна з провідних світових тенденцій ХХІ ст., яка суттєво впливає на економічну, соціальну й екологічну сфери людського буття. Стрімкі темпи урбанізації та швидке зростання її масштабів стало однією з особливостей розвитку сучасного світу. Якщо ще 100 років тому процеси урбанізації були притаманні тільки промислово розвинутих країнам, то нині вони набули глобальних масштабів. За даними Світового банку, 3 млрд людей – майже половина населення світу – нині проживає в містах.

Урбанізація (від лат. *urbanus* — міський) — це зростання ролі міст в розвитку суспільства, який супроводжується ростом і розвитком міських поселень, зростанням питомої ваги міського населення, поширенням міського способу життя в країні, регіоні, світі. У більшості країн вона є природним наслідком і стимулом економічного розвитку, що проходить стадії індустріалізації і постіндустріалізації. Тому рівень урбанізації, вимірюваний відношенням міського населення до загальної чисельності населення країни, особливо високий у розвинених країнах і набагато нижче в країнах з низьким доходом на душу населення. Урбанізація має великий вплив на розвиток різних соціально-економічних формацій і держав, саме з містами пов'язані основні досягнення цивілізації.

Процес урбанізації має 2 сторони, або «фазы». У першій «фазі» відбувається накопичення економічного і культурного потенціалу суспільства у великих міських центрах, що створює умови для формування вищих досягнень і зразків матеріальної та духовної діяльності. У другій «фазі» ці досягнення освоюються іншими, не центральними містами, а сільськими поселеннями, що у свою чергу, дає новий імпульс для нарощування потенціалу головних центрів .

Важливу роль відіграє процес урбанізації в країнах, що розвиваються. При всій своїй складності і хворобливості він сприяє становленню сучасної економіки, подолання відсталості і багатокладності, національної консолідації, розвитку соціально-політичної структури суспільства.

Одним з найважливіших ознак міського способу життя є прагнення людини до постійного оновлення інформації та контактів у сферах професійної діяльності, культури, особистісного спілкування і т. д.

Особливу роль у розширенні сфери дії урбанізації, міської культури відіграють засоби транспорту, зв'язку і масової комунікації (преса, радіо, телебачення), які залучають жителів периферійних районів, малих міських і сільських поселень до цінностей великих міст, міняють їх культурну орієнтацію. Зростають різного роду міграції в райони великих міських центрів, посилюється процес концентрації населення в агломераціях. Природа стає частиною міської культури, урбанізація гармонізує взаємодію соціальних і власне природних процесів.[1]

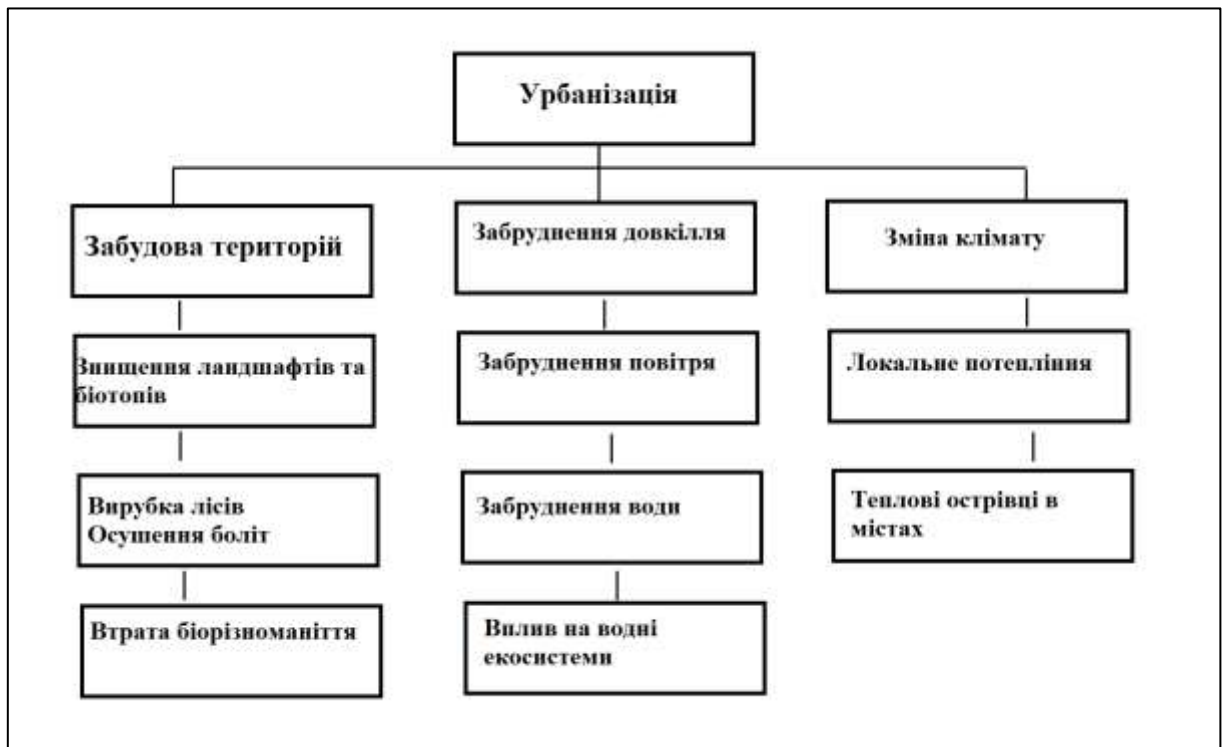


Рис.1.1 Види впливу урбанізації на природні середовища

Глобальні екологічні проблеми людства прямо чи опосередковано є наслідками антропогенного впливу людини на природне середовище. Особливо яскраво екологічні проблеми прослідковуються в урбанізованих районах, мегаполісах та містах. Серед екологічних проблем, які обумовлені урбанізаційними процесами доцільно визначити наступні: антропогенне забруднення атмосферного повітря; забруднення, виснаження та дефіцит водних ресурсів; проблема відходів на урбанізованих територіях.

Урбанізація часто супроводжується вирубкою лісів, осушенням боліт та перетворенням природних територій на забудовані. Це призводить до знищення середовищ існування для багатьох видів, які не можуть адаптуватися до нових умов.

Розбивка великих природних територій на менші фрагменти веде до ізоляції популяцій, що ускладнює їхнє розмноження і виживання. Зменшення генетичного різноманіття може зробити види більш уразливими до хвороб і змін клімату.

Втрата природних територій призводить до скорочення ареалів, що може спричинити зникнення видів, особливо ендемічних, які не зустрічаються більше ніде.

Викиди від автомобілів, промисловості та енергії сприяють забрудненню повітря, викликаючи проблеми зі здоров'ям, такі як астма, алергії та інші респіраторні захворювання. Стоки з міських територій, промислові відходи, пестициди і добрива забруднюють річки, озера та моря. Це може призвести до еутрофікації, яка викликає цвітіння водоростей, зменшуючи кількість кисню у воді та негативно впливаючи на рибу та інші водні організми. Неправильне управління відходами, зокрема небезпечними, може призвести до забруднення ґрунту, що вплине на рослинність і тварин, а також на якість води.[2]

Урбанізація призводить до руйнування ґрунтової структури, підвищення ерозії через будівництво, сільське господарство та зменшення рослинного покриття. Інтенсивне використання хімічних добрив та пестицидів може знижувати натуральну родючість ґрунтів, що призводить до зменшення врожайності сільськогосподарських культур.

Урбанізація часто супроводжується збільшенням стоків до річок і водойм, що може викликати повені, особливо внаслідок дощів або танення снігу. Водно-болотяні угіддя виконують важливі екологічні функції, такі як очищення води і збереження водних ресурсів. Їх знищення веде до порушення водного балансу і зниження якості води.[2]

Збільшення населення в містах призводить до зростання обсягів відходів, що ставить виклик для систем утилізації та переробки. Неправильне управління відходами може призвести до забруднення повітря, води та ґрунту. Неправильне або

недостатнє управління сміттєзвалищами може призвести до забруднення навколишнього середовища, а також до проблем з гніздинням шкідників.

Урбанізація зменшує здатність екосистеми надавати послуги, такі як очищення води, зберігання вуглецю, запилення, контроль за шкідниками, що може вплинути на продовольчу безпеку. Порушення природних процесів і функцій в екосистемах може призводити до збільшення чисельності шкідників, хвороб, які раніше контролювалися природними ворогами.

Екологічні наслідки урбанізації є складними і часто взаємопов'язаними. Вони вимагають комплексного підходу до управління ресурсами, планування міст і збереження природних середовищ для досягнення сталого розвитку. Збереження біорізноманіття, покращення якості повітря та води, а також управління відходами є критично важливими для здорового і сталого міського середовища.[3]

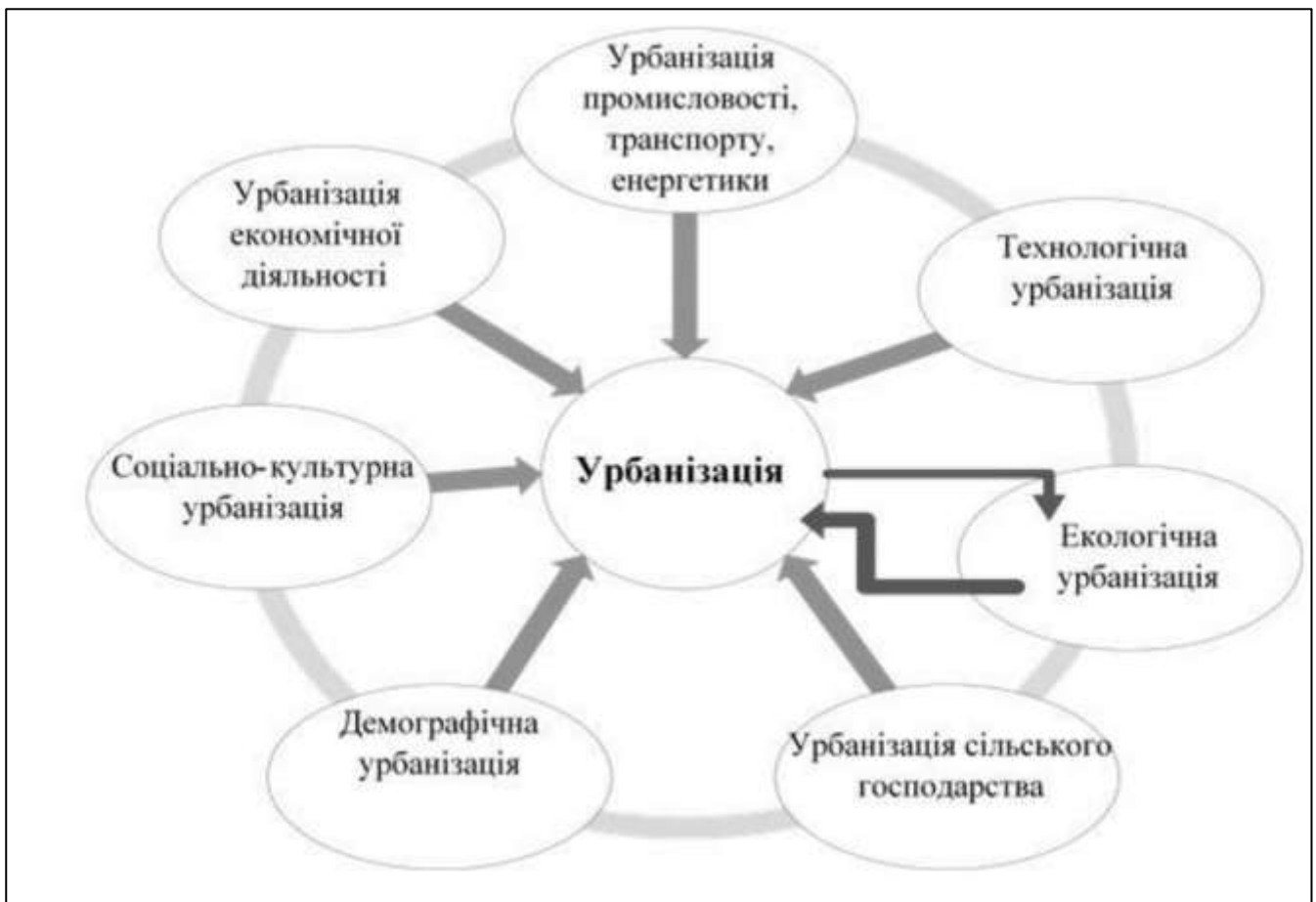


Рис.1.2. Структурна схема складників урбанізаційного процесу

## 1.2. Види екосистем і їх вразливість до урбанізаційних процесів

Екосистеми – це складні мережі взаємозв'язків між живими організмами та їхнім середовищем. Урбанізація істотно впливає на різні типи екосистем, і ступінь їхньої вразливості залежить від характеру середовища та інтенсивності людського втручання. Екосистема складається з двох основних компонентів: абіотичного та біотичного. Кожен із цих компонентів виконує свою функцію у забезпеченні життєвого циклу та стабільності екосистеми.

Абіотична частина - це фізичні та хімічні фактори, що забезпечують умови для життя організмів в екосистемі: сонячне світло, температура, вода, повітря, мінерали та ґрунт, клімат і погода.[4]

Біотична частина - це всі живі організми в екосистемі, які взаємодіють між собою та з абіотичними факторами. Біотична частина поділяється на три основні групи:

- Продуценти (автотрофи): організми, що виробляють власну їжу через фотосинтез або хемосинтез. Основні продуценти — це зелені рослини, водорості та деякі бактерії ( дерева, трави, водорості).
- Консументи (гетеротрофи): організми, що споживають інші організми для отримання енергії.
  - Первинні консументи: трав'яїдні тварини, що споживають продуцентів (корови, кролики, гусениці).
  - Вторинні консументи: хижаки, що споживають трав'яїдних тварин (лисиці, вовки).
  - Третинні консументи: великі хижаки, що споживають інших хижаків (орли, тигри).
- Редуценти (деструктори): організми, що розкладають органічні залишки і повертають неорганічні речовини в ґрунт і воду. Вони відіграють важливу роль у кругообігу речовин (гриби, бактерії, деякі комахи).

Біотичні та абіотичні компоненти тісно взаємодіють між собою:

- Продуценти використовують абіотичні ресурси (сонячне світло, воду,

вуглекислий газ) для створення органічних сполук.

- Консументи залежать від продуктів, створених продуцентами, для отримання енергії.
- Редуценти забезпечують кругообіг речовин, повертаючи поживні речовини в ґрунт для подальшого використання продуцентами.

Цей баланс між абіотичними та біотичними компонентами є основою стабільності та функціонування екосистем.

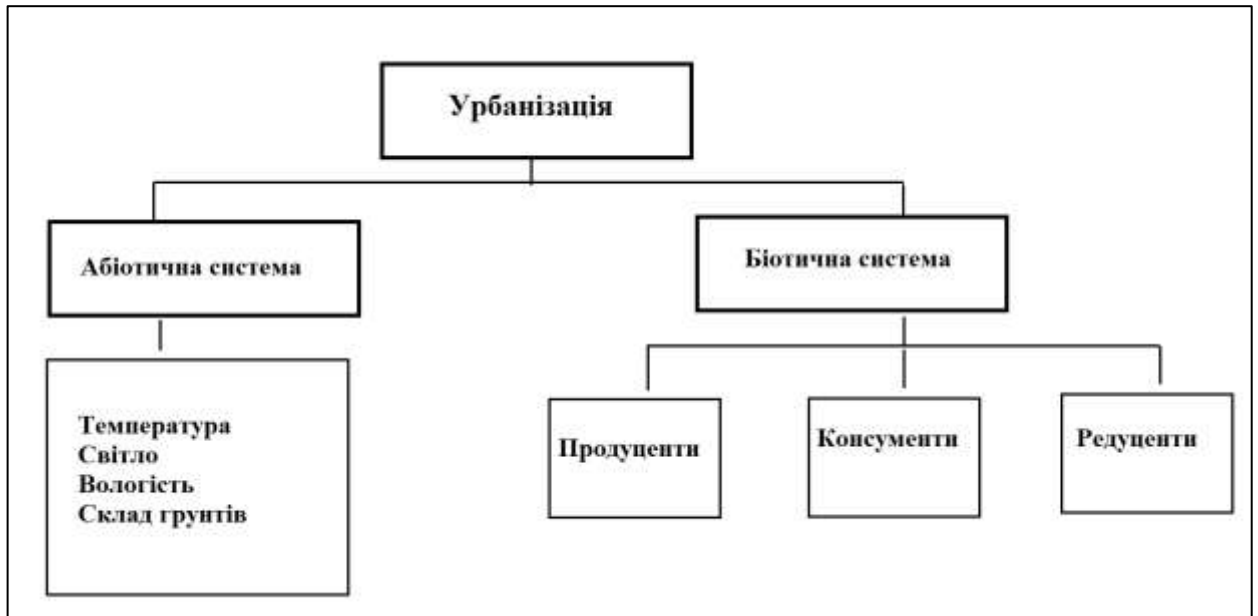


Рис. 1.3. Склад екосистеми

Урбанізація значно впливає на різні екосистеми, ведучи до втрати середовищ існування, забруднення і деградації природних ресурсів. Лісові масиви, водні екосистеми та ґрунтовий покрив особливо вразливі, оскільки зазнають сильного антропогенного тиску. Це підкреслює необхідність збереження та захисту цих важливих природних ресурсів.[5]

### 1.3. Нормативно-правова база дослідження.

Урбанізація – одна з провідних світових тенденцій ХХІ ст., яка суттєво впливає на економічну, соціальну й екологічну сфери людського буття. Стрімкі темпи урбанізації та швидке зростання її масштабів стало однією з особливостей розвитку сучасного світу. Якщо ще 100 років тому процеси урбанізації були притаманні тільки

промислово розвинутим країнам, то нині вони набули глобальних масштабів. За даними Світового банку, 3 млрд людей – майже половина населення світу – нині проживає в містах.

Охорона навколишнього природного середовища в Україні регулюється рядом законів і нормативних актів, спрямованих на забезпечення раціонального використання природних ресурсів, збереження біорізноманіття та запобігання екологічним катастрофам.

Одним із ключових документів у галузі охорони навколишнього природного середовища в Україні є Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" (1991 р.) який визначає правові засади охорони природи, екологічної безпеки та управління природними ресурсами. Він встановлює загальні правила збереження природних екосистем, контролю за забрудненням та стратегії зниження негативного впливу людської діяльності, включаючи урбанізацію.[6]

Основні положення Закону включають в себе такі аспекти:

- Право громадян на безпечне навколишнє середовище – забезпечує кожному громадянину право на безпечне для життя і здоров'я середовище, а також на отримання інформації про його стан.
- Екологічні стандарти та нормативи – закон встановлює основні екологічні стандарти, які визначають допустимі рівні впливу на природні ресурси, і вимагає їх дотримання всіма суб'єктами господарювання.
- Природоохоронні заходи – закон зобов'язує державу, підприємства і організації розробляти та впроваджувати заходи з охорони довкілля, що спрямовані на збереження біорізноманіття, водних і земельних ресурсів.
- Екологічний контроль – передбачає здійснення екологічного контролю на державному та місцевому рівнях для забезпечення дотримання екологічних норм і стандартів.
- Відповідальність за порушення природоохоронного законодавства – закон

передбачає різні види відповідальності за порушення екологічних норм, включаючи штрафи, припинення діяльності, а також кримінальну відповідальність за шкоду, завдану природі.

Закон є основою для формування екологічної політики держави, яка враховує національні і міжнародні вимоги до охорони довкілля, в тому числі в умовах швидкої урбанізації та збільшення навантаження на природні екосистеми.[6]

Ще одним з ключових документів є Закон України "Про оцінку впливу на довкілля" (2017 р.) – регулює процедури оцінки впливу на довкілля (ОВД) і визначає порядок проведення оцінки впливу планованих діяльностей на природне середовище. Закон спрямований на забезпечення екологічного контролю за новими проектами урбанізації, включаючи аналіз їх впливу на екосистеми.[7]

Закон має на меті впровадження ефективного механізму оцінки екологічних ризиків, пов'язаних з планованою діяльністю, з метою мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Забезпечення екологічної безпеки – створення механізму попередження та зменшення шкідливих впливів на довкілля при плануванні та реалізації проектів, які можуть суттєво вплинути на природні ресурси, біорізноманіття та здоров'я населення. Адаптує національне законодавство до вимог Європейського Союзу, зокрема Директиви ЄС 2011/92/ЄС про оцінку впливу окремих проектів на довкілля, що є важливим кроком у процесі євроінтеграції України. Забезпечує громадянам право на доступ до інформації про екологічні наслідки планованих діяльностей, а також передбачає їхню участь у процесі прийняття рішень через громадські слухання та обговорення. Шляхом проведення оцінки впливу на довкілля забезпечується виявлення та мінімізація потенційних ризиків для екосистем, водних ресурсів, ґрунтів, повітря та здоров'я людей ще на етапі планування проектів.[7]

Закон України "Про природно-заповідний фонд" (1992 р.) – встановлює правові основи функціонування природно-заповідних територій, що є важливими для збереження природних екосистем в умовах урбанізації. Цей закон визначає права і

обов'язки щодо охорони біорізноманіття в заповідниках, національних парках та інших охоронних територіях.

Природно-заповідний фонд (ПЗФ) – включає національні природні парки, заповідники, заказники, ботанічні сади, дендропарки, зоологічні парки та інші об'єкти, що мають особливу екологічну, наукову, рекреаційну та історико-культурну цінність. Закон встановлює правовий режим охорони природних територій, забороняючи будь-яку діяльність, яка може призвести до деградації екосистем та втрати біорізноманіття. Також передбачає організацію управління природно-заповідними територіями державою або місцевими органами влади, а також можливість отримання фінансування з державного та місцевих бюджетів, міжнародних фондів. Сприяє науковому вивченню природних екосистем на заповідних територіях з метою їхнього збереження і відновлення.[8]

Водний кодекс України (1995 р.) – забезпечує правову базу для регулювання використання водних ресурсів та управління водними екосистемами. Цей документ важливий для оцінки впливу урбанізації на водні об'єкти, включаючи водоносні горизонти та гідрологічний режим річок.[9]

Основні положення Кодексу:

1. Власність на водні ресурси – вода є національним багатством, що перебуває у виключній власності народу України, і не може бути передана у приватну власність. Водні ресурси надаються у користування на підставі дозволів та ліцензій.

2. Управління водними ресурсами – організація державного управління водним фондом здійснюється центральними та місцевими органами влади. Особливу увагу приділено управлінню басейновими системами річок.

3. Охорона водних ресурсів – Кодекс встановлює заходи щодо захисту вод від забруднення, засмічення та виснаження, передбачає створення зон санітарної охорони навколо водних об'єктів.

4. Право користування водами – визначає права та обов'язки водокористувачів (фізичних та юридичних осіб), які мають право на забір води для питних, сільськогосподарських, промислових та рекреаційних потреб за умов дотримання екологічних вимог.

5. Відповідальність за порушення – за недотримання норм щодо використання та охорони водних ресурсів передбачена адміністративна, кримінальна та матеріальна відповідальність, зокрема за забруднення вод або незаконне водокористування.

Водний кодекс спрямований на забезпечення ефективного використання та охорони водних ресурсів України для сталого розвитку, охорони довкілля та здоров'я населення. [9]

Екологічна безпека в процесі міського планування є однією з ключових вимог до сталого розвитку урбанізованих територій. Основні нормативні акти, які регулюють міське планування в Україні з урахуванням екологічних аспектів, включають:

Закон України "Про регулювання містобудівної діяльності" (2011 р.) – встановлює правила і процедури містобудування, які повинні враховувати екологічні аспекти.

Закон передбачає оцінку впливу на довкілля при плануванні нових міських зон та розробку заходів із мінімізації негативних наслідків урбанізації. Закон визначає порядок розробки, затвердження та реалізації генеральних планів населених пунктів, детальних планів територій та іншої містобудівної документації.

Усі проекти повинні враховувати екологічні вимоги та потреби сталого розвитку. Громадяни мають право на участь у плануванні та забудові територій. Передбачає відкриті громадські слухання щодо проектів містобудівної документації. Забезпечує врахування екологічних чинників при плануванні забудови, включаючи захист природних екосистем, збереження зелених зон і мінімізацію негативного впливу на довкілля. Також встановлює контроль за дотриманням містобудівних норм і правил, а також передбачає відповідальність за їх порушення, зокрема штрафи та призупинення будівництва.[10]

Державні будівельні норми України (ДБН) – містять екологічні вимоги до міського планування та забудови, зокрема щодо забезпечення екологічної безпеки, збереження природних ландшафтів та зелених зон. ДБН визначають параметри забудови, що включають архітектурні рішення, інженерні конструкції, технічні характеристики будівель і споруд. Окремі норми ДБН спрямовані на

забезпечення екологічної безпеки, енергоефективності будівель та збереження природного середовища. Це включає вимоги до збереження зелених зон, водоохоронних зон, а також заходи щодо енергоефективності та екологічного будівництва. ДБН встановлюють вимоги щодо створення доступного середовища для маломобільних груп населення, включаючи людей з інвалідністю, зобов'язуючи забудовників і проєктувальників враховувати їх потреби в інфраструктурі. Містять вимоги до планування інфраструктури міст і сіл, включаючи транспортні мережі, водопостачання, водовідведення, енергетичні системи та соціальні об'єкти (школи, лікарні тощо).[11]

#### 1.4. Аналіз наукових досліджень впливу урбанізації на екосистеми

Глобальний характер урбанізації визначає більшість негативних процесів у навколишньому природному середовищі – тотальне забруднення всіх компонентів довкілля, деградацію ландшафтів, зміни характеру використання біологічних ресурсів, порушення сталої рівноваги природних екосистем та біосфери загалом. Україна належить до високоурбанізованих країн (69,4% за станом на 01.01.2020) та за цим показником займає 73 місце в рейтингу країн світу. При цьому є низка принципових відмінностей України від інших держав, що проявляється, по-перше, в різкому зменшенні чисельності населення, в тому числі міського (падіння в 1,33 раза усього населення та в 1,2 раза – міського). Хаотичність урбанізації сприяла нерівномірному розподілу 461 міст за областями, територія яких займає лише 3% загальної площі країни.

Сучасні урбанізаційні процеси є визначальним фактором формування стану екологічної небезпеки територіальних угруповань різного рівня організації. Розроблення індексу урбанізації як інтегрального показника стану екологічної безпеки складної динамічної системи міста з прилеглими природними та квазіприродними територіями є актуальним та своєчасним завданням із реалізації концепції сталого та безпечного розвитку регіонів.

Вивчення взаємозалежності стану навколишнього середовища та процесів прискореної урбанізації, які охопили багато країн Азії, Америки, Європи, є «топ-

темою» наукових міжнародних досліджень. Бурхливий розвиток міст із різким зростанням чисельності населення найбільш притаманний Китаю. У багаточисельних дослідженнях урбанізована територія цієї країни розглядається як осередок нагромадження проблем хімічного та шумового забруднення довкілля, дефіциту якісної питної води, накопичення виробничих і побутових відходів та інших проблем, пов'язаних із зростаючим дисбалансом природного середовища та урбанізованої території. Так, у роботі на прикладі 350 префектурних одиниць Китаю встановлені кореляції між економічними та екологічними підсистемами. Показано, що неврахування екологічних цілей буде обмежувати промисловість виробництвом та переробкою первинної продукції, що виснажує природні ресурси країни.

Питання сталої безпеки територій багатьох країн розглядаються, як правило, за допомогою індикаторів, запропонованих міжнародними організаціями, серед яких «Індекс живої планети» (Living Planet Index); показник «Екологічний слід» (Ecological Footprint) та «Водний слід» (Water Footprint); «Індекс екологічної сталості» (Environmental Sustainability Index), система індикаторів ООН «Екологічна ціль» (Millennium Development Goals) та інші. Наприклад, у дослідженнях, присвячених екологічній безпеці міст і регіонів Європи, часто застосовують індикатор «Екологічний слід», який базується на оцінках екологічного потенціалу території через здатність протистояти різноманітним впливам антропогенно-техногенного характеру. На прикладі міст Італії обґрунтована система індикаторів DPSIR (Driving-Pressure-State-ImpactResponse – Рушійна сила-Тиск-Стан-Вплив-Відгук), які можна представити як комплекс показників реакцій екологічного стану міських систем на антропогенні навантаження різного генезису. Індекси DPSIR визначаються на основі статистичних даних, належать до відомої системи індикаторів PSR (Pressure-State-Response – Тиск-Стан-Реакція), яка розроблена Організацією Економічного Співтовариства та Розвитку (ОЕСР). Модель PSR є загальноприйнятою в багатьох методах визначення комплексних індексів та дає змогу здійснювати їх ієрархічну обробку.[12]

Загалом індикатори покликані бути основою запровадження узгоджених заходів для мінімізації та запобігання негативних змін довкілля, погіршення загальної

безпеки. Їх втілення в реальну політику зарубіжних країн спрямоване на вирішення глобальних проблем подолання бідності, забезпечення високої якості життя і безпеки міського населення.

Висновок до розділу 1:

З усього вище зазначеного можна підсумувати, що оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми є критично важливим завданням у сучасному світі, оскільки швидка урбанізація призводить до суттєвих змін у природному середовищі. Урбанізація веде до втрати біорізноманіття, забруднення навколишнього середовища та деградації природних середовищ. Це зумовлює необхідність глибшого розуміння вразливості різних видів екосистем до урбанізаційних змін. Виявлені методи оцінки впливу, зокрема використання космічних знімків, відкривають нові можливості для моніторингу екосистем і їх змін.

Наукові дослідження підкреслюють необхідність інтеграції екологічних, соціальних і економічних аспектів у процесі планування і розвитку міст. Визначення ефективних стратегій управління природними ресурсами та збереження екосистем стане ключовим для забезпечення сталого розвитку і гармонійного співіснування людини та природи.

Таким чином, подальше вивчення і вдосконалення підходів до оцінки впливу урбанізації на природні екосистеми є критично важливим для забезпечення екологічної стійкості та соціального добробуту в умовах глобалізації та зростаючої урбанізації.

## Розділ 2

### Аналіз основних методів оцінки впливу урбанізації на екосистеми

					<b>ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми з використанням космічних знімків	Літ.	Арк.	Аркушів
Виконала	Миколайчук К.А.						25	20
Перевірила	Нестеренко О.В.							
Керівник	Нестеренко О.В.							
Зав. каф.	Карпінський Ю.О.							
					КНУБА, група ГСТм-23			

## Розділ 2. Аналіз основних методів оцінки впливу урбанізації на екосистеми.

### 2.1 Екологічні індекси

Оцінка впливу урбанізації на екосистеми є важливою для розуміння, як зміни в землекористуванні і розвиток міст впливають на навколишнє середовище. Метод оцінки впливу урбанізації на екосистеми за допомогою екологічних індексів є одним із найпоширеніших способів кількісного оцінювання змін у довкіллі під впливом урбанізаційних процесів. Екологічні індекси допомагають інтегрувати різні екологічні показники та зводити їх до єдиного числа чи набору показників для зручнішої інтерпретації. Ось основні типи екологічних індексів, що використовуються для оцінки впливу урбанізації:

**1. Індекс біорізноманіття (Biodiversity Index)** - це кількісний показник, який використовується для оцінки різноманітності живих організмів у певній екосистемі чи території. Він дає змогу вимірювати, скільки різних видів (рослин, тварин, мікроорганізмів тощо) мешкає в певному середовищі, та оцінювати рівень їхнього різноманіття. Урбанізація може суттєво впливати на біорізноманіття, знижуючи його через знищення природних середовищ існування, забруднення, фрагментацію ландшафтів та інші фактори. Урбанізація зазвичай знижує біорізноманіття через втрату природних середовищ існування.

Приклади індексів:

— **Індекс видового багатства (Species Richness):** Це один із найпростіших показників, що відображає кількість різних видів, присутніх у досліджуваній області. Чим більше видів мешкає в екосистемі, тим вищий показник видового багатства. Його недоліком є те, що він не враховує відносну чисельність кожного виду, а лише кількість видів.

— **Індекс Шеннона-Вінера:** Враховує не лише кількість видів, але й відносну чисельність кожного виду (частоту зустрічності видів). Цей індекс використовується для оцінки різноманітності спільнот, включаючи як рідкісні, так і поширені види. Чим вище значення індексу, тим більша різноманітність і рівномірний розподіл видів у екосистемі.[13]

Використання індексів біорізноманіття для оцінки впливу урбанізації дозволяє кількісно вимірювати зміни у складі та структурі екосистем, виявляти найбільш уразливі території та допомагає приймати рішення щодо збереження біорізноманіття.

**2. Індекс екологічної стійкості (Ecological Sustainability Index)** - це інтегрований показник, який використовується для оцінки здатності екосистем зберігати свою функціональність та стійкість до антропогенних впливів, таких як урбанізація, зміни клімату, забруднення тощо. Цей індекс дозволяє оцінити екологічну стійкість на локальному, регіональному або глобальному рівні.

Переваги використання ESI:

— ESI враховує різні аспекти екологічної стійкості, включаючи природні, соціальні та економічні фактори.

— Індекс дозволяє звести різні екологічні показники до одного числового значення, що робить його зручним для аналізу та порівняння.

— ESI допомагає урядам, екологічним організаціям та дослідникам приймати обґрунтовані рішення щодо охорони довкілля та зменшення негативного впливу урбанізації. [13]

### **3. Індекс якості довкілля (Environmental Quality Index)**

Комплексний показник, що використовується для оцінки стану навколишнього середовища в певному регіоні або на території. EQI дозволяє інтегрувати різноманітні екологічні дані та оцінювати вплив антропогенних факторів на якість довкілля. Цей індекс може охоплювати різні компоненти довкілля, такі як повітря, вода, ґрунт, біорізноманіття та інші екосистемні характеристики.

Переваги використання індексу якості довкілля:

— EQI дозволяє отримати загальне уявлення про стан довкілля, враховуючи різні його аспекти.

— Єдине числове значення полегшує порівняння стану довкілля в різних регіонах чи з часом.

— EQI може бути використаний для моніторингу змін в екологічній ситуації, виявлення проблем і розробки стратегій для покращення якості довкілля.

Урбанізація часто супроводжується збільшенням викидів забруднюючих речовин в атмосферу, воду та ґрунти, що знижує показники EQI. Забудова природних територій призводить до зниження біорізноманіття та екосистемних послуг, що також відображається в індексі. Урбанізаційні процеси можуть викликати деградацію екосистем, зменшуючи їхню стійкість і функціональність. Погіршення якості довкілля безпосередньо впливає на здоров'я населення і загальний рівень життя в урбанізованих зонах.

Використання індексу якості довкілля допомагає моніторити стан довкілля, виявляти проблеми, пов'язані з урбанізацією, і розробляти стратегії для поліпшення екологічної ситуації. Це важливий інструмент для прийняття рішень на різних рівнях – від місцевого до державного.[14]

**4. Індекс екологічного сліду (Ecological Footprint)** - це показник, що вимірює вплив людської діяльності на екосистеми в термінах площі землі і води, необхідної для забезпечення ресурсів та поглинання відходів, вироблених населенням. Цей індекс допомагає оцінити, наскільки людське споживання перевищує можливості природи відновлювати ці ресурси.

Переваги використання індексу екологічного сліду:

— Надає кількісну оцінку впливу споживання на природні ресурси та екосистеми.

— Індекс представлений у зрозумілій формі (гектари), що дозволяє легко сприймати інформацію.

— Використовується для моніторингу сталого розвитку, виявлення проблем і розробки політик для зменшення негативного впливу на довкілля.[15]

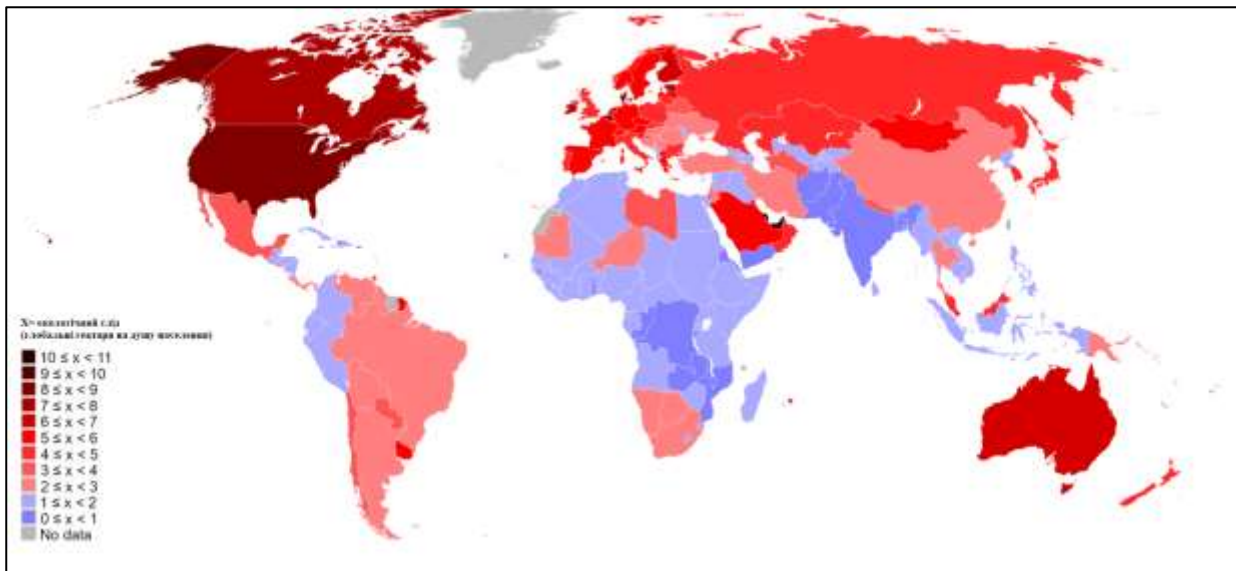


Рис. 2.1. Карта розподілу країн світу за величиною екологічного сліду

Рис.1.4 ілюструє екологічний слід (в глобальних гектарах на душу населення) для різних країн світу. На карті використовуються різні кольори для позначення рівнів екологічного сліду. Загалом карта ілюструє різницю у впливі на навколишнє середовище в різних країнах, причому високий екологічний слід спостерігається в розвинених країнах, таких як США, Канада, Австралія та країни Європи.

Програма ООН з довкілля (UNEP) щорічно оцінює екологічний слід людства для аналізу впливу споживання ресурсів на глобальному рівні. Вони використовують ці дані, щоб відстежувати, наскільки споживання ресурсів перевищує природні можливості планети до їх відновлення. Це дозволяє виявляти тренди, зокрема, коли Земля досягає так званого "Дня екологічного боргу" — дати, коли людство починає споживати більше ресурсів, ніж природа може відновити за рік.[16]

Екологічний слід допомагає зрозуміти, наскільки ефективно або неефективно використовуються ресурси і вказує на потребу у сталому розвитку та зменшенні надмірного споживання, особливо в країнах з високим рівнем споживання ресурсів.

**6. Індекс урбанізації земель (Urban Land Index)** - це показник, що вимірює ступінь урбанізації певної території, зокрема відсоток або площу земель, які були перетворені в міське середовище. ULI допомагає оцінити вплив урбанізації на земельні ресурси, екосистеми та суспільство в цілому.

Основні компоненти індексу урбанізації земель:

— Вимірює площу земель, які були перетворені з природних або сільськогосподарських у міські території (житлові, комерційні, промислові зони).

— Цей показник може включати як новобудови, так і вже існуючі міські зони.

— Включає площі, які ще не були урбанізовані, такі як природні території, сільськогосподарські угіддя та лісові масиви.

— Оцінюється швидкість, з якою відбувається перетворення земель з природного використання на міське. Це може включати річні темпи зростання площі урбанізованих територій.

— Враховується, як урбанізаційні процеси регулюються на рівні держави або місцевих органів влади, що впливає на розподіл земель та використання ресурсів.[17]

**8. Індекс забруднення (Pollution Index)** це показник, який використовується для оцінки рівня забруднення навколишнього середовища в певному регіоні. Він забезпечує інтеграцію різних показників забруднення в єдину метрику, що дозволяє порівнювати різні території або відстежувати зміни в часі.

Основні компоненти індексу забруднення:

Забруднення повітря - оцінюється на основі концентрацій забруднюючих речовин, таких як діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), частки  $\text{PM}_{10}$  і  $\text{PM}_{2.5}$ , вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) та інші. Ці показники можуть бути зведені до одного числового значення для визначення загального впливу забруднення повітря.

Забруднення води - включає показники, які вимірюють якість води, такі як вміст важких металів (свинець, ртуть), нітратів, фосфатів, мікробіологічні показники, а також хімічні параметри (рівень рН, розчинений кисень). Оцінка може також включати забруднення водою від стічних вод та сільськогосподарських відходів.

Забруднення ґрунту - вимірюється за концентрацією небезпечних речовин у ґрунті, таких як пестициди, важкі метали, органічні забруднювачі, що можуть негативно вплинути на екосистеми та здоров'я людини.

Шумове забруднення - оцінюється рівень шуму в середовищі, що вимірюється в децибелах (дБ). Занадто високий рівень шуму може негативно впливати на здоров'я і якість життя.[17]

### 9. Індекс деградації ґрунтів (Soil Degradation Index)

— Відображає вплив урбанізації на якість і функціональність ґрунтів (ерозія, засолення, забруднення).

— Цей індекс допомагає виміряти рівень втрати продуктивності ґрунтів через будівництво, забруднення та інші урбанізаційні процеси.[18]

## 2.2 Основи дистанційного зондування Землі. Космічні знімки як інструмент оцінки екосистемних змін.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) — це одержання інформації про будь-який об'єкт чи процес без прямого контакту з ними. У сучасному розумінні ДЗЗ полягає в тематичному аналізі як власного, так і штучно створеного випромінювання земної поверхні в межах від ультрафіолетового до радіохвильового діапазонів. У той же час, розвиток геодезичних та картографічних знань зробили можливим прив'язати космічний знімок до конкретного місця земної поверхні, яку він відображає. Без наземних геодезичних спостережень, географічних проєкцій та координат було б неможливо почати використовувати космічні знімки як джерело геоданих.

Дистанційне зондування Землі з космосу у поєднанні з математичним моделюванням має вирішальне значення для розуміння сучасних кліматичних процесів, а також накопичення даних і доказової бази для прогнозування глобальних кліматичних змін у майбутньому та розробки ефективної політики задля безпеки та збалансованого розвитку людства. Залежно від довжини хвилі та природи електромагнітного випромінювання, яке фіксує сенсор супутникової системи, дистанційне зондування накопичує дані про процеси в атмосфері, в океані, на поверхні землі, а також про гірські породи, ґрунт, рослинність, водні об'єкти, льодовики, сніговий покрив тощо. Інтерпретація даних ДЗЗ у поєднанні

з математичними рівняннями, алгоритмами та моделями забезпечує перетворення даних у інформацію, потрібну для прийняття рішень на різних рівнях управління.

Дослідження будь-яких змін, що відбуваються в екосистемах, базується на різночасовому порівняльному аналізі. Серед сучасних методів побудови рядів ретроспективних порівнянь найбільш ефективними є ті, які ґрунтуються на використанні даних дистанційного зондування Землі. Особливо актуальне використання результатів дистанційного моніторингу в разі досліджень змін ландшафтної структури великих природних об'єктів, для яких проводити регулярні польові дослідження складно і витратно. Найбільш доступною характеристикою ландшафту, в тому числі й аквального, є рослинність. Відстежуючи перебудову видової і ценотичної структур рослинного покриву, перерозподіл домінант або площ, зайнятих різними фітоценозами, можливо оцінити і спрогнозувати трансформацію ландшафтних комплексів. У будь-якій ландшафтній структурі виділяються просторові ділянки, яким властиві однорідність абіотичних факторів і формування характерного набору фіто- і зооценозів. Їх прийнято називати біотопами. Вони піддаються класифікації, можуть ранжуватися, займати значні площі, а їх межі чітко простежуються на космічних знімках. Серед них є ряд індикаторних, порівняння змін структури або площі яких дозволяє простежити основні тенденції розвитку водної екосистеми.[19]

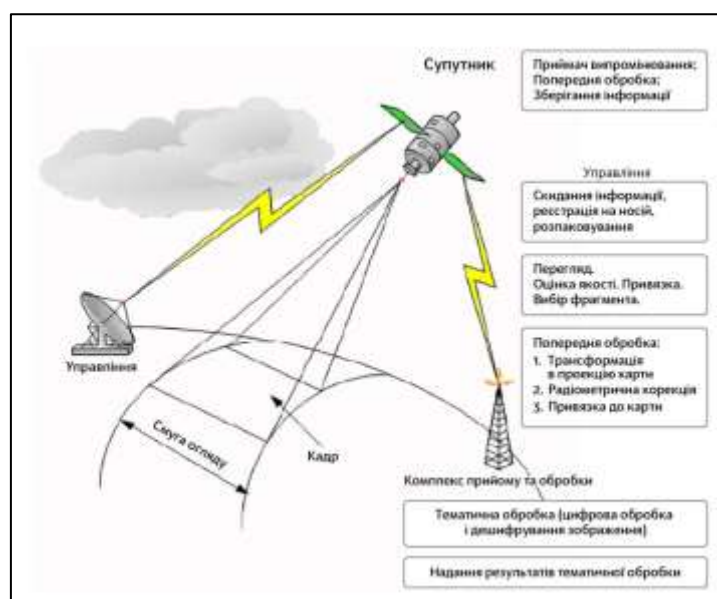


Рис.2.2. Системи дистанційного зондування: аерокосмічне та наземне

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) стало одним із найефективніших методів оцінки впливу урбанізації на екосистеми. Завдяки супутниковим знімкам і даним з повітряних платформ ДЗЗ надає широкі можливості для комплексного моніторингу змін, пов'язаних із розширенням міських територій. Це особливо важливо в умовах інтенсивного зростання міст, коли збільшується навантаження на природні ресурси, погіршується якість повітря, змінюється місцевий клімат і погіршуються умови для збереження біорізноманіття.

Супутникові дані дозволяють виявляти та аналізувати зміни у землекористуванні, які виникають через розширення міст. Вони надають можливість відстежувати зміну зелених зон, природних ландшафтів, водних об'єктів та сільськогосподарських земель, які поступово заміщуються житловими, комерційними та інфраструктурними об'єктами. Це дозволяє фахівцям оцінювати масштаби перетворення природного середовища на урбанізоване і прогнозувати, як ці зміни впливатимуть на місцеві екосистеми.

Урбанізація сприяє підвищенню температури у містах, що призводить до формування так званих теплових островців. За допомогою супутникових знімків, які використовують інфрачервоний та тепловий діапазон, можна виявляти ділянки з підвищеною температурою та оцінювати, як забудова і брак зелених насаджень впливають на локальний клімат. Крім того, дані ДЗЗ дозволяють аналізувати якість повітря, що є важливим показником екологічного стану урбанізованих територій. Зокрема, концентрацію забруднюючих речовин, таких як діоксид азоту або озон, можна визначати за допомогою спектральних зображень, що надає можливість оперативно реагувати на проблеми, пов'язані з якістю повітря.

Урбанізація значно впливає на водні екосистеми через зростання водовідведення, забруднення та зміну гідрологічного режиму. За допомогою дистанційного зондування можна відстежувати зміну площ водних об'єктів, якість води та її рівень, а також динаміку поверхневого стоку на територіях з інтенсивною забудовою. Так, мультиспектральні знімки дозволяють фіксувати показники, що свідчать про забруднення води, включаючи зміну кольору, наявність осадів або

зростання водоростей, що є важливими індикаторами екологічного стану водних екосистем.

Зелені зони у містах виконують низку важливих екосистемних функцій, зокрема поглинання CO<sub>2</sub>, регулювання мікроклімату, підтримання біорізноманіття та створення комфортного середовища для людей. Дистанційне зондування дозволяє виявляти втрати зелених зон через забудову та оцінювати загальний стан рослинності за допомогою індексів вегетації, таких як NDVI. Це надає можливість своєчасно реагувати на скорочення рослинного покриву, а також оцінювати зусилля щодо його відновлення.[19]

Основними перевагами ДЗЗ для оцінки впливу урбанізації є регулярність отримання даних та можливість швидкої обробки великих обсягів інформації. Супутники забезпечують оновлення знімків територій щотижня, а іноді навіть щодня, що дозволяє відстежувати зміни у реальному часі. Завдяки використанню методів машинного навчання і алгоритмів для обробки великих даних знімки ДЗЗ можуть бути автоматично класифіковані, що значно полегшує аналіз та дає змогу швидше реагувати на загрози для екосистем.

Одним із прикладом застосування методу ДЗЗ є моніторинг «цвітіння води» . «Цвітінням» води називають масовий розвиток мікроскопічних водоростей (зазвичай синьо-зелених), що супроводжується значним погіршенням якості води. Це викликано цілим комплексом факторів, таких як зміна клімату, надходження у воду великої кількості різних мінеральних і органічних речовин, та пов'язане з інтенсифікацією господарської діяльності людини. Зокрема, надходженням у водойми забруднених біогенними речовинами комунальних чи сільськогосподарських стоків, мінеральних добрив, синтетичних миючих засобів тощо.[20]

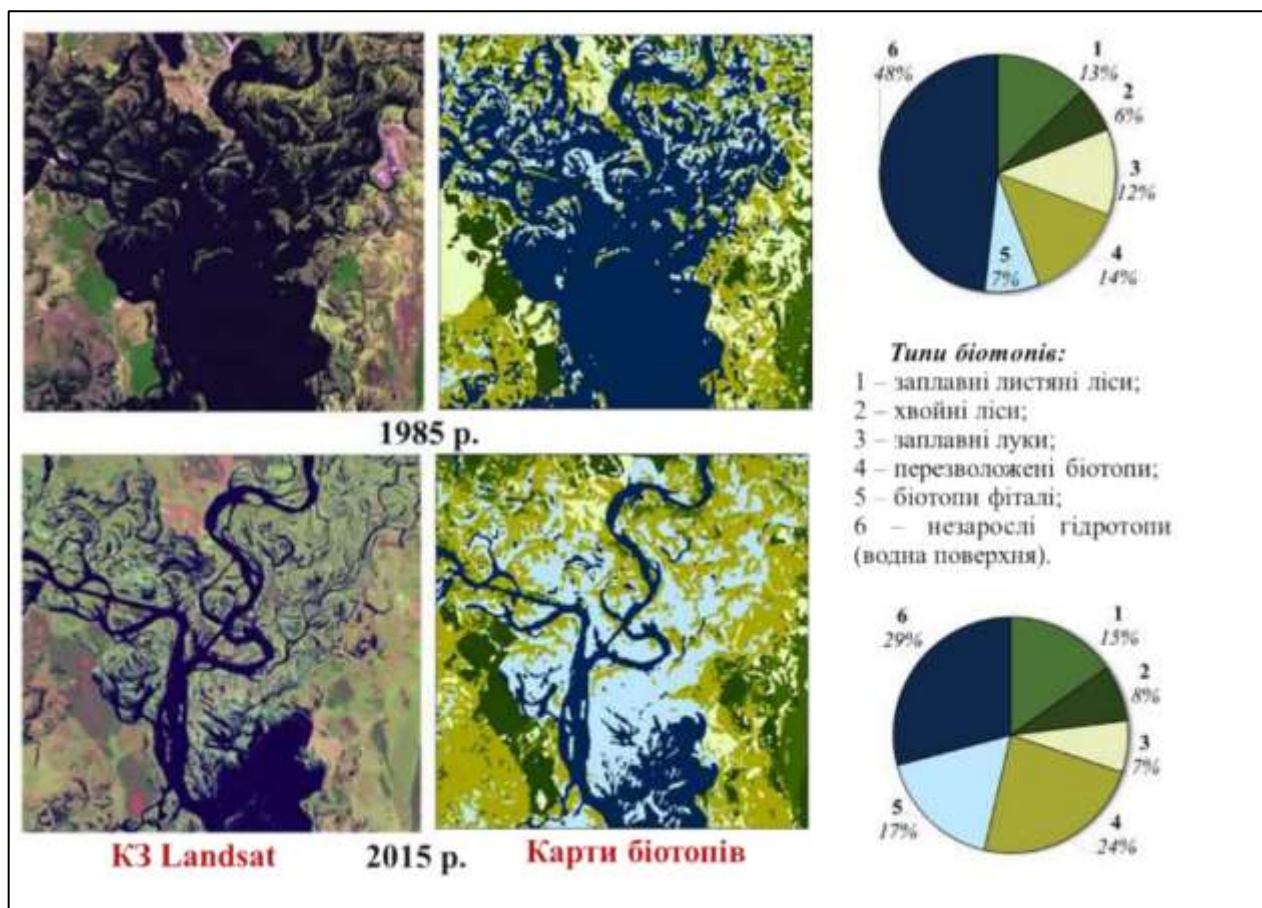


Рис.2.3. Дослідження динаміки заростання верхів'я Київського водосховища за матеріалами дешифрування КЗ Landsat

«Цвітіння» води є показником розбалансованих продукційнодиструкційних процесів в екосистемі, підвищення показників її трофності в сторону евтрофікації, що, зазвичай, супроводжується погіршенням якості води, аж до гіперевтрофності, коли збагачення водою біогенами спричиняє посилені витрати кисню у воді, масове відмирання біоти та різку зміну параметрів екосистеми.

Загалом, дистанційне зондування стає ключовим інструментом для розробки стратегій сталого розвитку міст. Дані ДЗЗ дозволяють оцінювати, де необхідно створювати зелені насадження, регулювати водовідведення або обмежувати забудову, щоб мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Це підвищує екологічну ефективність урбанізації та сприяє кращому балансу між економічним розвитком та збереженням природних ресурсів.[20]

## 2.3 Польові дослідження. Соціально-економічні дослідження. Оцінка екологічного сліду

Польові дослідження — метод оцінки впливу урбанізації на екосистеми, який дозволяє отримувати безпосередні дані про стан природних і штучних середовищ, що піддаються інтенсивному впливу забудови. Завдяки польовим дослідженням, екологи можуть проводити ґрунтовний аналіз окремих територій, досліджувати склад та стан ґрунтів, водних ресурсів, рослинного покриву та місць проживання тварин. Зокрема, польові дослідження забезпечують можливість детально вивчати конкретні аспекти, які залишаються поза увагою при використанні лише дистанційних методів, таких як супутникові дані або аерофотозйомка.

Даний метод дає змогу вивчати різноманіття видів у конкретних урбанізованих або прилеглих до міст екосистемах. Вимірювання біорізноманіття включає ідентифікацію видів, виявлення їхнього ареалу та аналіз взаємозв'язків між різними видами в умовах урбанізації. Наприклад, міська забудова може змінювати середовище для видів, що призводить до зменшення чисельності окремих популяцій або зникнення певних видів із цих територій. Польові дослідження дозволяють збирати дані про те, які види зберігають свої популяції, а які стають уразливими або зникають під впливом урбанізації.

У ході польових досліджень можна взяти проби повітря і води для аналізу їхнього складу, щоб виявити, як урбанізація впливає на ці ключові компоненти екосистеми. Дослідження повітря дозволяють визначити рівні вмісту забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту, діоксид вуглецю, важкі метали і летючі органічні сполуки, які можуть надходити від транспорту та промислових об'єктів. Вивчення води на урбанізованих територіях включає аналіз вмісту токсичних речовин, рівня забруднення хімікатами та виявлення змін у рН, які можуть негативно впливати на водну флору та фауну.

Польові методи дозволяють здійснювати детальний аналіз ґрунтів на урбанізованих територіях. Це включає вивчення ерозійних процесів, складу ґрунту, його хімічного та фізичного стану. Урбанізація часто призводить до ущільнення ґрунтів, забруднення важкими металами та іншими хімічними сполуками, що знижує

родючість і перешкоджає росту рослин. Польові дослідження дозволяють збирати зразки ґрунту, аналізувати їх у лабораторних умовах, виявляти рівень забруднення та оцінювати вплив цього процесу на рослинність і загальну екологічну ситуацію.

Одним із важливих завдань польових досліджень є оцінка стану рослинності, яка є основою багатьох екосистемних послуг. Урбанізація може призвести до скорочення площі зелених зон, зміни складу рослинних угруповань та їхнього стану. У процесі польових досліджень експерти можуть оцінювати видове різноманіття рослин, їхній фізичний стан, виявляти інвазивні види, які можуть витіснити місцеву флору. Також польові методи дозволяють оцінити здатність міських зелених зон до відновлення, виявляючи особливості їхньої стійкості до стресових факторів, таких як забруднення повітря, ущільнення ґрунту і зміни клімату.

Польові дослідження також допомагають зрозуміти, як тварини адаптуються до змін, викликаних урбанізацією. Дослідники можуть вивчати міграційні шляхи, зміни в поведінці, адаптаційні стратегії та вплив міського шуму і освітлення на місцеву фауну. Це дозволяє виявляти, як нові умови впливають на тваринні популяції, та розробляти стратегії збереження, що сприяють їхній адаптації або створенню сприятливих умов для виживання.

Дослідження забезпечують глибоке розуміння локальних екологічних процесів, які можуть бути незамінними для формування конкретних заходів щодо мінімізації негативного впливу урбанізації. На основі даних, отриманих під час польових досліджень, можна розробляти рішення для збалансованого розвитку міст, включаючи відновлення зелених зон, створення природних коридорів, які з'єднують урбанізовані території з природними, та регулювання забудови для захисту біорізноманіття.

Загалом, польові дослідження відіграють ключову роль у забезпеченні екологічної стабільності в умовах зростаючої урбанізації. Вони надають надійні та точні дані, які дозволяють виявляти та оцінювати вплив міських процесів на екосистеми, що робить їх незамінними для сталого розвитку та збереження природного середовища в містах та навколо них. [21]

Соціально-економічні дослідження є важливим інструментом для оцінки впливу урбанізації на екосистеми, оскільки вони дозволяють вивчати не тільки екологічні зміни, але й взаємозв'язки між людською діяльністю, економічним розвитком і станом довкілля. Ці дослідження допомагають зрозуміти, як соціальні та економічні процеси впливають на довкілля, а також виявити способи мінімізації негативного впливу міської забудови та промислової діяльності на природні ресурси.

Урбанізаційні процеси, що полягають у зростанні меж міст, міських жителів та поширенні міського способу життя, обумовлюють ряд змін у інфраструктурному та економічному контексті. Дані зміни мають як позитивні наслідки, так і негативні наслідки, що більшою мірою впливають як на безпеку урбанізованих територій, так і на безпеку життєдіяльності людей на даній території. Незважаючи на те, що урбанізаційні процеси сприяють удосконаленню інфраструктури міст та значно розширюють можливості та доступ до благ цивілізації, вони також характеризуються і значними інфраструктурними та економічними дисбалансами. Міста є потужними двигунами світової економіки, а відповідно великі міста – це концентрація великого капіталу, талантів, інновацій, технологій та робочої сили. Це все, з одного боку, сприяє розвитку, а з іншого породжує нерівність як в соціальному, так і економічному аспекті, що проявляється у ряді проблем, таких як дисбаланс у міських доходах, міська бідність, відсутність міського житла та доступу до нього, існування бідних районів та розвиток нетрів, міська злочинність.

Соціально-економічні дослідження дозволяють оцінити масштаби таких змін, розглянути, як інвестиції у будівництво і розвиток інфраструктури впливають на використання земель і природних ресурсів. Наприклад, аналіз вартості землі та її доступності може показати, як ціни на нерухомість стимулюють розширення міських кордонів і призводять до знищення зелених зон. Допомагають оцінити витрати урбанізації на навколишнє середовище, такі як забруднення повітря, втрата біорізноманіття, зниження якості води та деградація ґрунтів. Наприклад, вони можуть допомогти оцінити, який економічний вплив мають негативні екологічні наслідки — від зменшення продуктивності сільського господарства до витрат на охорону здоров'я через підвищення захворюваності, спричиненої забрудненням. Аналіз таких витрат

дозволяє отримати повну картину екологічного «рахунку» урбанізації та показати, які заходи можуть зменшити цей негативний вплив.

Соціально-економічні дослідження дозволяють оцінити ефективність ринкових механізмів та екологічної політики, яка має на меті мінімізацію негативного впливу урбанізації. Наприклад, механізми «зеленого» оподаткування, субсидії на екологічно чисті технології, підтримка «зелених» будівель та стимулювання відповідального споживання — все це може знизити вплив міської забудови на екосистеми. Дослідження показують, як урбанізація залежить від економічних стимулів, і можуть допомогти знайти оптимальні стратегії для сталого розвитку.

Урбанізація часто супроводжується змінами в структурі населення та його економічній активності. Соціально-економічні дослідження можуть аналізувати, як демографічні процеси — зростання чисельності населення, міграція з сільських територій, зміна рівня життя — впливають на навколишнє середовище. Зокрема, вони допомагають зрозуміти, як потреби та поведінка населення впливають на споживання ресурсів, забруднення та втрату природних територій. Такі дослідження можуть передбачити, які зміни очікуються в майбутньому та які заходи потрібні для збереження екосистем.

Соціально-економічні дослідження забезпечують наукові основи для розробки екологічної політики, яка враховує не лише екологічні, але й соціальні та економічні аспекти. Це дає можливість приймати рішення, які будуть підтримувати як зростання економіки, так і збереження природних ресурсів. Наприклад, дослідження можуть показати необхідність у розвитку громадського транспорту, збереженні зелених зон, впровадженні програм екологічної освіти, або створенні економічних стимулів для впровадження екологічно чистих технологій.[22]

Загалом, соціально-економічні дослідження відіграють важливу роль у розумінні того, як урбанізація впливає на екосистеми, а також надають практичні рекомендації для пом'якшення негативного впливу та забезпечення сталого розвитку. Вони дозволяють оцінювати реальну ціну урбанізації, забезпечують розуміння потреб громад і сприяють формуванню відповідальної політики, яка дозволяє зберегти природне середовище навіть у швидко зростаючих міських зонах.

Ще одним методом оцінки впливу урбанізації на природні екосистеми є метод екологічного сліду. Екологічний слід — міра потреб людини в екосистемах планети; стандартизований показник, що відображає попит людської популяції на природний капітал, який може навіть перевищувати екологічну спроможність планети до регенерації цього капіталу. Інакше: це територія землі та води, яка потрібна людській популяції для отримання відновлюваних ресурсів, які вона споживає, і для поглинання відповідних відходів, які вона виробляє, з використанням переважаючих технологій. Іншими словами, він вимірює «кількість природи», яку ми використовуємо, і порівнює її з тим, скільки насправді має «природа». З іншого боку, біопотенціал є здатністю біосфери до регенерації та забезпечення життя на поточних тенденціях попиту. Він порівнює матеріальний обмін людської економіки з тим, що природа може оновити.

Дана міра дозволяє порівняти потреби окремої людини, сім'ї, громади, нації та цивілізації в цілому у природному капіталі з обсягами екологічних ресурсів, що є у розпорядженні, а також, з можливостями для їх відновлення. Аналіз екологічного сліду широко використовується навколо Землі для підтримки оцінок стійкості. Це дає змогу людям вимірювати і керувати використанням ресурсів в економіці та досліджувати стійкість індивідуального способу життя, товарів і послуг, організацій, галузей промисловості, районів, міст, регіонів і країн.

Показник розраховується як для окремої людини так і для групи людей і представляється площею біологічно продуктивної поверхні суходолу та води, необхідної як для постачання природних ресурсів, що споживаються людиною чи групою людей, так і для поглинання відходів, пов'язаних з цим споживанням. За допомогою обрахунку вплив життєдіяльності людини на довкілля представляється у глобальних гектарах суходолу та водної поверхні на одну особу, що концептуально простіше для сприйняття.

Для розрахунку екологічного сліду існують різні методи оцінки та апроксимації. Однак найбільш вживаний враховує такі елементи:

- Необхідна поверхня для забезпечення необхідної рослинної їжі.

- Гектари лісу, необхідні для прийняття CO<sub>2</sub> від споживання енергії.
- Морська зона, необхідна для отримання риби.
- Гектари, необхідні для пасовища, яке годує худобу та виробляє корм для тварин.

Незважаючи на те, що розрахунки проводяться постійно, існує очевидна складність з отриманням повністю прийнятих методологій.

У містах, де інтенсивна урбанізація збільшує споживання енергії, води та інших ресурсів, екологічний слід може суттєво перевищувати регенераційні можливості природи. Це призводить до так званого екологічного дефіциту, коли попит на природні ресурси перевищує їхнє постачання. Аналіз екологічного сліду дозволяє визначити, де знаходяться основні джерела екологічного навантаження, і допомагає розробляти стратегії для зменшення впливу на довкілля. Наприклад, міста можуть зменшити свій вуглецевий слід шляхом переходу на відновлювані джерела енергії, зменшити споживання води за допомогою водозберігаючих технологій, або ж впроваджувати політики для зменшення кількості відходів.

Міські адміністрації використовують оцінку екологічного сліду як індикатор стійкості, що показує, чи здатне місто розвиватися, не порушуючи здатності природи забезпечувати ресурси для майбутніх поколінь. Ця оцінка є базою для політики сталого розвитку, що охоплює раціональне використання ресурсів, захист біорізноманіття, оптимізацію транспортних та інфраструктурних мереж, що знижують екологічне навантаження на природні екосистеми.

Розуміння та зниження екологічного сліду стає ключовим елементом у боротьбі зі змінами клімату та збереженні біорізноманіття. Впровадження інноваційних технологій, розробка регіональних політик зменшення ресурсного споживання та підвищення обізнаності громадян щодо сталого способу життя сприяють досягненню збалансованого співіснування урбанізованого суспільства та природного середовища.

[22]

Щодо розрахунку екологічного сліду було проведено безліч досліджень, ось кілька їх прикладів:

- Розрахунки людства у 2007 році засвідчили що цивілізації потрібно у 1,5 рази

більше площі у вигляді різномірних екосистем планети ніж на той час було у наявності на Землі. Це означає, що людство використовує екологічні ресурси планети у 1,5 рази швидше, аніж планета встигає відновити їх.

- Другий стандарт методології було схвалено у 2009 році. Завдяки цим методологіям стало можливим оцінити площі планетарних екосистем, які слід мобілізувати для того, щоб підтримати життєдіяльність людства в рамках існуючого способу життя та господарювання.

- Населення переважної більшості розвинутих держав використовує більше природного капіталу, ніж генерується на їх власній території. Таким чином, навантаження на довкілля у розвинутих країнах, більше, аніж в інших. Було вираховано так звані екологічні межі, які дозволяли природі підтримувати людську діяльність в рамках існуючого способу життя. Вони становили 2,2 га на одного мешканця планети.

- У 2014 році Global Footprint Network оцінила екологічний відбиток людства на планету Земля, та відмітили, що вимоги людства були в 1,7 рази швидше, ніж відновлені екосистеми планети. Також програма ООН з довкілля вираховує екологічний слід людства щорічно.[22]

#### 2.4 Застосування ГІС в оцінці впливу урбанізації на природні екосистеми

ГІС - це сучасна комп'ютерна технологія для картування і аналізу об'єктів реального світу, також подій, які відбуваються на нашій планеті. Ця технологія об'єднує традиційні операції роботи з базами даних, такими як запит і статистичний аналіз, з перевагами повноцінної візуалізації та географічного (просторового) аналізу, які надає карта. Ці можливості відрізняють ГІС від інших інформаційних систем і забезпечують унікальні можливості для її застосування в широкому спектрі задач, пов'язаних з аналізом та прогнозом явищ і подій довкілля, з осмисленням і виділенням головних факторів і причин, а також їх можливих наслідків.

Геоінформаційні системи тісно зв'язані з іншими інформаційними системами і використовують їх дані для аналізу об'єктів. ГІС характеризують:

- розвинуті аналітичні функції;
- можливість керувати великими обсягами даних;
- інструменти для введення, обробки та відображення просторових даних.

Операції, які здійснюються ГІС:

- В геоінформаційних системах автоматизовано процес створення цифрових карт, що кардинально скорочує терміни технологічного циклу.
- Геоінформаційні системи зберігають просторові і атрибутивні дані для їх подальшого аналізу та обробки.
- Геоінформаційні системи виконують запити про властивості об'єктів, розташованих на карті, і автоматизують процес складного аналізу, порівнюючи значну кількість параметрів для отримання відомостей чи прогнозування явищ.
- Зручне представлення даних безпосередньо впливає на якість і швидкість їх аналізу. Просторові дані в геоінформаційних системах представляються у вигляді інтерактивних карт. Звіти про стан об'єктів можуть бути побудовані у вигляді графіків, діаграм, трьохвимірних зображень.

Геоінформаційні системи (ГІС) стають надзвичайно важливими інструментами для оцінки впливу урбанізації на екосистеми. Завдяки ГІС, фахівці можуть інтегрувати та аналізувати дані про ландшафт, водні ресурси, зелені зони, біорізноманіття та інші екологічні аспекти на території, яка зазнає інтенсивного розвитку. Урбанізація часто призводить до значних змін у природних процесах: погіршення якості повітря, втрати місць проживання для видів, змін у водному балансі та збільшення поверхневого стоку через розширення площі забудов. За допомогою ГІС можна моделювати ці процеси, прогнозувати їх вплив і шукати рішення для мінімізації шкоди. Наприклад, створюючи карти ризиків та моделі потенційних змін клімату на конкретних ділянках, аналітики можуть ефективно оцінювати ступінь негативного впливу на природні середовища. ГІС дозволяють також порівнювати сучасний стан екосистем з історичними даними, що дає змогу простежити динаміку змін і зосередитися на ключових факторах, які найбільше впливають на стан навколишнього середовища.

Завдяки застосуванню ГІС можливо не тільки прогнозувати наслідки урбанізації, але й розробляти більш збалансовані стратегії розвитку міст. Наприклад, ГІС-аналіз допомагає обрати оптимальні зони для зелених насаджень, визначити території для збереження водозборів чи створення природних коридорів. У результаті підхід, заснований на використанні геоінформаційних систем, дозволяє поєднувати економічний розвиток із захистом навколишнього середовища, що сприяє сталому розвитку міст і громад.

ГІС також сприяють кращому розумінню того, як міські процеси впливають на екосистемні послуги – ресурси та блага, що їх забезпечує природа. Наприклад, зелені насадження у міських районах виконують функції фільтрації повітря, зниження температури, поглинання дощової води та підтримки біорізноманіття. ГІС дозволяють оцінити, наскільки ефективно зберігаються ці функції при зростанні міської забудови, і визначити, де можна посилити їхній захист чи поліпшити їх.

Крім того, за допомогою ГІС аналітики можуть створювати інтерактивні карти, які відображають складні процеси впливу урбанізації у зручному та доступному форматі. Такі карти є потужним інструментом для прийняття рішень на різних рівнях: від міських служб до державних органів. Вони допомагають створити зрозумілу картину змін, що дозволяє швидко реагувати на проблеми, виявляти пріоритетні зони для екологічних ініціатив та розробляти адаптивні стратегії.

Ще однією перевагою ГІС є можливість інтеграції даних з різних джерел – супутникових знімків, топографічних карт, даних про мікроклімат, показників забруднення тощо. Це створює умови для більш точного аналізу та прогнозування, оскільки надає можливість розглядати урбанізацію в контексті її взаємодії з різними елементами екосистем. У довгостроковій перспективі такий підхід дає змогу розробляти комплексні плани міського розвитку, які будуть враховувати екологічні ризики та створювати комфортне середовище для мешканців.

Загалом, використання ГІС для оцінки впливу урбанізації на екосистеми дозволяє поєднувати сучасні технології та екологічні підходи для досягнення сталого розвитку. Завдяки цьому міста можуть зберігати баланс між економічними потребами

та екологічною стабільністю, що в умовах стрімкої урбанізації є надзвичайно важливим завданням.

Висновок до розділу 2:

Використання екологічних індексів дозволяє проводити кількісні оцінки та порівняння впливу урбанізації на екосистеми, визначати найбільш уразливі ділянки та приймати науково обґрунтовані рішення для їх захисту та відновлення. Екологічні індекси є потужним інструментом, який дозволяє не лише оцінювати екологічний стан, а й приймати зважені рішення для забезпечення сталого розвитку. Вони відіграють важливу роль у моніторингу та управлінні природними ресурсами, сприяючи досягненню екологічної стійкості і збереженню біорізноманіття для майбутніх поколінь.

У даному проєкті доцільно використовувати метод дистанційного зондування, оскільки він має високу просторово-часову деталізацію, супутникові дані дозволяють отримувати актуальну інформацію про земний покрив із широким охопленням території. Також є можливість використання архівних супутникових знімків, що дозволяє простежувати динаміку змін землекористування та стану природних екосистем у різні часові періоди. Це дає змогу оцінити розвиток урбанізації та її вплив на природні території протягом десятиліть. Дані дистанційного зондування, наприклад, з Landsat або Sentinel, є безкоштовними та легкодоступними, що значно знижує вартість досліджень.

Таким чином, метод дистанційного зондування є одним із найефективніших підходів для комплексної оцінки змін у природних екосистемах під впливом урбанізації, поєднуючи доступність, високу просторову і часову деталізацію та можливість багатofакторного аналізу.

## Розділ 3

# Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконала		Миколайчук К.А.			Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми з використанням космічних знімків	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірила		Нестеренко О.В.					46	23
Керівник		Нестеренко О.В.				КНУБА, група ГСТм-23		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						

## Розділ 3. Оцінка впливу урбанізації на природні екосистеми

### 3.1. Характеристика об'єкта одсліджень. Вибір космічних знімків

Дослідження оцінки впливу урбанізації на природні екосистеми проведено в межах міста Славута, що на Хмельниччині. Географічне розташування міста в межах Поліської зони з її унікальними природними екосистемами робить його цікавим об'єктом для вивчення впливу урбанізації на навколишнє середовище. Славута розташована в межах лісостепової зони, яка є перехідною між українським Поліссям та Лісостепом, і збагачена біорізноманіттям характерних для цих зон екосистем.

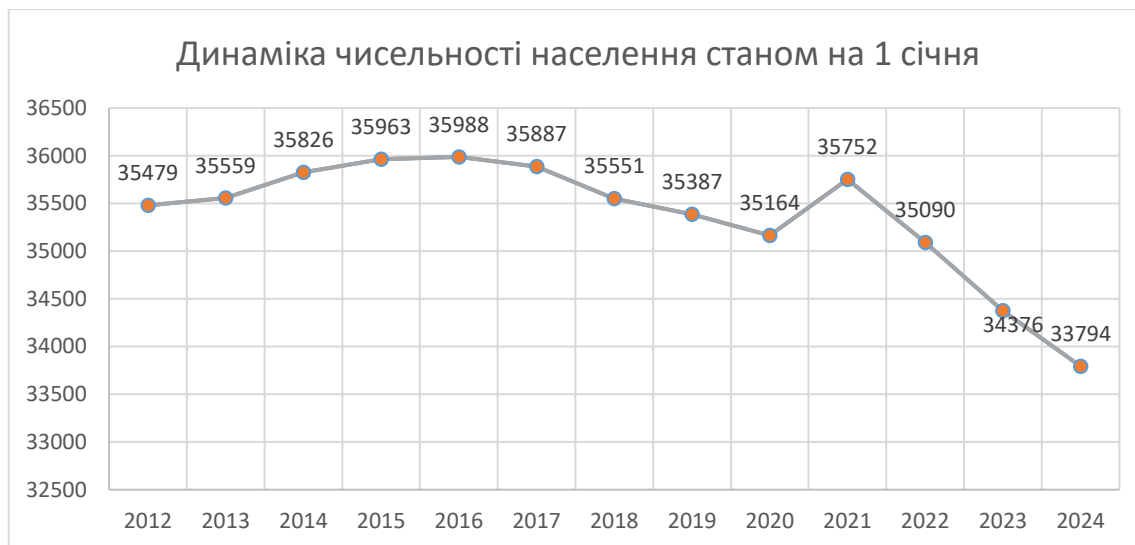
Місто характеризується помірно континентальним кліматом із теплим літом та м'якою зимою. Такий клімат сприяє розвитку природних лісових екосистем, що оточують місто. У складі рослинного покриву домінують ліси, луки та водно-болотні угіддя, які надають важливі екологічні послуги для підтримки стабільного середовища.

Останніми десятиліттями Славута, як і багато інших населених пунктів, зазнала урбанізаційного тиску. Розширення міської забудови, розвиток транспортної інфраструктури та промисловості призводять до змін у структурі земельного покриву, витіснення природних екосистем та фрагментації природних територій. Ці процеси спричиняють деградацію природного середовища, втрату біорізноманіття, погіршення якості водних ресурсів і зміну мікроклімату.

З використанням статистичних та офіційних даних органів виконавчої влади, що реалізують державну політику у сфері охорони навколишнього природного середовища та охорони здоров'я, проведено моніторинг змін міста Славута .

Протягом 2011-2015 р. р. спостерігалась стійка тенденція до зростання чисельності населення міста за рахунок як природного, так і міграційного приростів. Проте починаючи з 2016 року динаміка чисельності населення міста має стійку тенденцію до зниження за рахунок як природного, так і міграційного скорочення. Загальне зниження цього показника спостерігається і в цілому по області. Станом на 01.01.2023 року на території Славутської міської територіальної громади проживало

34376 осіб, із них міське населення - 33583 осіб, населення сільської місцевості – 793 особи.



Сучасна рослинність Славутчини складається із тайгових, широколистяних, степових та середземноморських елементів, які у різні часи проникали на територію Українського Полісся. Серед хвойних порід перше місце за площею поширення та запасами деревини займає сосна, із листяних порід – насадження дуба і берези. У навколишніх лісах росте ялина, липа, клен, горобина. Багатим є трав'яний і кущовий покрив суниць, брусниць, конвалій, ліщини, терну.[23]

Гідрографія міста представлена річками Горинь та Утка. Річка Горинь є одна з найбільших притоків Прип'яті. Річка Утка протікає через усе місто, розливаючись ставками, і на околиці його впадає до повноводної Горині.

Сучасний рельєф Славутчини є наслідком тривалої геологічної еволюції, і утворився він під впливом різних геологічних чинників. Та частина, де лежить місто, — це вкрита пісками рівнина, що являє собою продовження (по долині річки Горинь) західноукраїнського (волинського) Полісся і відома під назвою Острозької низовини. Характерною особливістю її рельєфу є польодовикові бархани. Зустрічаються вони і в околицях Славути.

Ґрунти сформувалися в основному на породах легкого складу під лісовою і трав'яною рослинністю в умовах неглибокого залягання ґрунтових вод. Це переважно дерново-підзолисті лучні ґрунти.

Згідно даних з відкритих джерел земельного фонду Хмельницької області проведено моніторинг зміни земель сільсько-господарського призначення, рілля та перелоги, сіножаті та пасовищ, лісів та лісовкритих земель.[24]

Структура земельного фонду Хмельницької області								
Рік	2016	2017	2018	2019	2021	2022	2023	2024
с-г угіддя	1566.2	1566,2	1566,2	1566,2	1565.741	2062.9	2062.9	2062.9
Рілля та перелоги	1650.32	1253.9	1253.9	1253.9	1254.243	1254.24	1254.24	1254.24
Сіножаті та пасовища	354.81	270.7	270.7	270.7	270.239	270.24	270.24	270.24
Ліси та лісовкриті землі	291.9	287,6	287,6	289.7	286.743	286.74	286.74	286.74

Земельний фонд Хмельницької області демонструє стабільність в останні роки, з незначними змінами, зокрема у площах сільськогосподарських угідь та лісів. Збільшення площ сільськогосподарських угідь у 2022 році свідчить про активний розвиток агросектору. А скороченню площ лісів пов'язане з урбанізацією, лісозаготівлею, та розвитком сільського господарства.[25]



У роботі для аналізу використано супутникові знімки двох колекцій Landsat. USGS Landsat 5 TM Collection 2 Tier 1 Level 2 Surface Reflectance (2004 рік) та USGS Landsat 8 Collection 2 Tier 1 Level 2 Surface Reflectance (2024 рік).

USGS Landsat 5 TM Collection 2 Tier Level 2 Surface Reflectance (2004 рік): Ця колекція включає дані, отримані за допомогою супутника Landsat 5 із сенсором

Thematic Mapper (TM). Landsat 5 забезпечує роздільну здатність 30 метрів, що дозволяє детально аналізувати земельні ділянки та зміни у покритті. Даний супутник працював з 1984 по 2013 рік, забезпечуючи постійні спостереження за Землею, що дозволяє аналізувати зміни за тривалий період. Сенсор TM має 7 спектральних каналів, включаючи інфрачервоний і середньоінфрачервоний, що дозволяє аналізувати вегетацію, водойми, урбанізовані території тощо. Дані коригуються для відображення на рівні верхньої межі атмосфери, що мінімізує вплив атмосферних умов.



Рис.3.1. Космічний знімок міста Славута колекції Landsat 5

Landsat 8 Collection 2 Tier 1 Level 2 Surface Reflectance (2024 рік):  
Ця колекція містить дані із сучаснішого супутника Landsat 8, оснащеного сенсорами OLI (Operational Land Imager) та TIRS (Thermal Infrared Sensor). Landsat 8 має вдосконалені сенсори з 11 спектральними каналами, що дозволяють отримати більш якісні та інформативні дані. Вони характеризуються покращеною роздільною

здатністю та точністю спектральних даних, що дозволяє проводити більш глибокий і детальний аналіз сучасного стану природних екосистем. Супутник є діючим, що дозволяє отримувати сучасні знімки для аналізу. Канали Landsat 8 адаптовані для порівняння з даними попередніх супутників, що полегшує аналіз змін за десятиліття. Так само, як і Landsat 5, забезпечує 30-метрову роздільну здатність для більшості каналів, що дозволяє детально аналізувати зміни.



Рис.3.2. Космічний знімок міста Славута колекції Landsat 8

Дані з обох колекцій були скориговані для мінімізації впливу атмосферних чинників, що дозволяє порівнювати їх без суттєвих похибок. Знімки аналізувалися для моніторингу змін у природних і антропогенних ландшафтах, а також для оцінки впливу урбанізації на природні екосистеми.

### 3.2. Дослідна реалізація оцінки впливу урбанізації на природні екосистеми.

Для аналізу даних та картографічних робіт у роботі використані такі програмні забезпечення як:

Google Earth Engine — це хмарна платформа, розроблена для аналізу супутникових даних і масштабної обробки геопросторових даних. Платформа дозволяє працювати з великими архівами супутникових даних (Landsat, MODIS, Sentinel тощо), забезпечує багатий набір функцій для обчислення спектральних індексів, класифікації покриття територій, аналізу часу та змін ландшафтів, працює у хмарі, що значно скорочує час обробки даних, навіть для великих територій та тривалих часових періодів. [26]

QGIS (версія 3.28.11) - це безкоштовна геоінформаційна система, яка використовується для обробки, аналізу та візуалізації геопросторових даних. Програмне забезпечення дозволяє працювати з локально збереженими даними, у тому числі результатами, отриманими у Google Earth Engine. Інструменти QGIS дозволяють створювати високоякісні карти, проводити аналіз геоданих, інтегрувати кілька джерел даних. QGIS має велику кількість плагінів, наприклад, для роботи з супутниковими даними, автоматизації процесів або аналізу земельного покриття.

Обидві колекції обраних знімків - у репозиторії Google Earth Engine, вже йдуть з атмосферою корекцією та калібруванням по коефіцієнту відбиття у верхній частині атмосфери (top-of-atmosphere TOA). Це означає що дані вже адаптовані для роботи з алгоритмами, що дозволяє уникнути додаткових кроків з калібрування.

Для зручності роботи у Google Earth Engine, щоб обмежити об'єми файлів і одразу обрізати зображення дослідної території (місто Славути), за допомогою інструменту у QGIS – OSM Info експортовано територію міста у шейп файл.

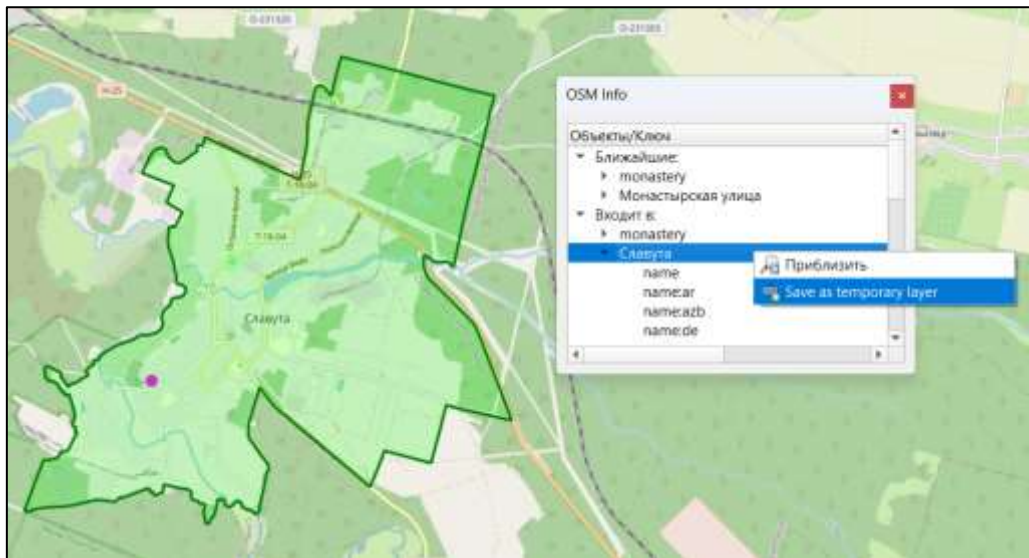


Рис.3.3. Вікно ПЗ QGIS 3.28.11 з використанням плагіну OSM

Наступним кроком у роботі є процес вибору та підготовки супутникових знімків за 2004 рік для аналізу. Завантажений шейп-файл із геометрією міста імпортується у середовище Google Earth Engine. Цей файл служитиме для обрізання супутникових даних відповідно до меж міста. Застосовано фільтр хмарності, для вибору лише знімків з хмарністю до 2%, що забезпечує кращу якість зображень.

Після фільтрації даних, проведена обробка, створенно медіанне зображення (на основі обраних знімків). Цей підхід дозволяє зменшити вплив шуму, поодиноких хмар чи артефактів на зображеннях. Отримане зображення обрізається відповідно до меж міста, зазначених у шейп-файлі. Це дозволяє сфокусувати аналіз на конкретній території.

```

1 var Slavuta = table.filter(ee.Filter.eq('name_uk', "Славута"));
2 Map.centerObject(Slavuta, 13);
3
4 var visParams = {
5   color: 'white',
6   width: 2 // Ширина обводки
7 };
8
9 Map.addLayer(table, visParams, 'A' );
10
11 var styledSlavuta = Slavuta.style({
12   color: 'black',
13   width: 3,
14   fillColor: '00000000' // Прозорий залив
15 });
16
17 // Додаємо шар на карту
18 Map.addLayer(styledSlavuta, {}, 'Контур Славути');
19
20 var L5 = imageCollection3.filterBounds(Slavuta)
21   .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 2)
22   .filterDate('2004-05-20', '2004-08-30')
23   ;
24
25 print('Filtered images count:', L5.size());
26
27 // Фільтруємо, обчислюємо медіану та обрізаємо зображення
28 var filteredImages = L5.select(['SR_B1', 'SR_B2', 'SR_B3', 'SR_B4', 'SR_B5', 'SR_B7'])
29   .median().clip(Slavuta);
30
31 // Додаємо шар на карту
32 Map.addLayer(filteredImages, imageVisParam2, 'Landsat Image 2004');
33

```

Рис.3.4. Скрипт що виконує завдання створення медіанного зображення  
 Результат виведений екран, зображує космічний знімок міста Славута, з  
 обмеженою територією за 2004 рік.



Рис.3.5. Результат виконання коду в Google Earth Engine. Медіанне  
 зображення території міста Славута на основі даних Landsat 5 за 2004 рік.

Також обробка та фільтрація даних проведена із знімком колекції Landsat 8 2024 року.



Рис.3.6. Результат виконання коду в Google Earth Engine. Медіанне зображення території міста Славута на основі даних Landsat 8 за 2024 рік. Далі, для кожного зображення (2004 і 2024 років) були створені тренувальні дані, що охоплюють 7 класів: водні об'єкти, рослинність, ґрунт, забудовані території, заплави річок. Для цього було використано інструменти геометрії, наявні в Google Earth Engine, зокрема функцію "Geometry Tools".

Тренувальні дані необхідні для навчання класифікатора, що дозволяє виконати автоматичну класифікацію пікселів зображення за визначеними класами. Завдяки чітко визначеним полігонам ми можемо отримати якісну модель, що забезпечує точне розпізнавання кожного класу. Таким чином, ці дані слугуватимуть основою для створення тематичних карт, які відображають зміну землекористування та стан природних екосистем за вибрані роки.

```
45 // Створення тренувальної бази для класифікації за 2004 рік
46
47
48 var training_2004 = Water_2004.merge(Vegetation_2004).merge(soil_2004)
49 .merge(Urban_2004).merge(Floodplain_2004);
50 print(training_2004);
51
52 var L5Bands = ['SR_B1', 'SR_B2', 'SR_B3', 'SR_B4', 'SR_B5', 'SR_B7'];
53
54 var trainingData_2004 = filteredImages.sampleRegions({
55   collection: training_2004,
56   properties: ['Class'],
57   scale: 30
58 });
59
60 var RF_2004 = ee.Classifier.smileRandomForest(150).train({
61   features: trainingData_2004,
62   classProperty: 'Class',
63   inputProperties: L5Bands
64 });
65
66 //Класифікація зображення на 2004 рік
67 var classifiedImage_2004 = filteredImages.classify(RF_2004);
68 Map.addLayer(classifiedImage_2004, {
69   min: 1,
70   max: 5,
71   palette: ['#549EFF', 'green', '#F09B59', 'lightgrey', '#B9E8B1']
72 }, 'RF_2004 LULC');
73
74 // Перевірка кількості точок у тренувальному наборі
75 var classCounts = training_2004.aggregate_histogram('Class');
76 print('Кількість точок у кожному класі:', classCounts);
77
```

Рис. 3.7. Створення тренувальної бази для класифікації знімків



Рис.3.8. Створені тренувальні класи для супутникових знімків 2004 та 2024 років.

Задано необхідні параметри, та вказано колір кожному об'єкту класифікації. Дані про цю геометрію синхронно завантажені у вкладку імпорту. На кожному знімку проведена ручна класифікація, за допомогою обрання пікселя який відповідає класу, таким чином створена навчальну базу для класифікації.



Рис.3.9 Зображення ручної класифікації для знімку 2004 року



Рис.3.10. Зображення ручної класифікації для знімку 2024 року

Наступним кроком створено скрипт для побудови зображення за допомогою машинного навчання класифікуючи його. Спершу проведено дії для знімку 2004 року, та виведено у консоль кількість елементів які класифікуються.[27]

```
87 // Створення тренувальної бази для класифікації за 2024 рік
88
89 var training_2024 = Water_2024.merge(Vegetation_2024).merge(soil_2024)
90 .merge(urban_2024).merge(Floodplain_2024);
91 print(training_2024);
92
93 var L8Bands = ['SR_B1', 'SR_B2', 'SR_B3', 'SR_B4', 'SR_B5', 'SR_B6', 'SR_B7'];
94
95 var trainingData_2024 = filteredImages1.sampleRegions({
96   collection: training_2024,
97   properties: ['Class24'],
98   scale: 30
99 });
100
101 var RF_2024 = ee.Classifier.smileRandomForest(150).train({
102   features: trainingData_2024,
103   classProperty: 'Class24',
104   inputProperties: L8Bands
105 });
106
107
108 //Класифікація зображення на 2024 рік
109 var classifiedImage_2024 = filteredImages1.classify(RF_2024);
110 Map.addLayer(classifiedImage_2024, {
111   min: 1,
112   max: 5,
113   palette: ['#549EFF', 'green', '#F09B59', 'lightgrey', '#B9E8B1']
114 }, 'RF_2024 LULC');
115
116 // Виведення значень пікселів у тренувальних даних
117 var pixelValues24 = filteredImages1.sampleRegions({
118   collection: training_2024,
119   properties: ['Class24'],
120 });
```

Рис.3.11. Створений скрипт для проведення машинної класифікації

```
‣ var Water_2004: FeatureCollection (89 elements)
‣ var Vegetation_2004: FeatureCollection (161 elements)
‣ var soil_2004: FeatureCollection (87 elements)
‣ var Urban_2004: FeatureCollection (187 elements)
‣ var Floodplain_2004: FeatureCollection (68 elements)
‣ var Water_2024: FeatureCollection (102 elements)
‣ var Vegetation_2024: FeatureCollection (333 elements)
‣ var soil_2024: FeatureCollection (137 elements)
‣ var urban_2024: FeatureCollection (364 elements)
‣ var Floodplain_2024: FeatureCollection (79 elements)
```

Рис.3.12. Зображення консолі та кількості елементів, що класифікуються

```

140 // Проведення оцінки точності
141 var testFeatures_2004 = training_2004.map(function(feature) {
142   var truth = feature.get('Class');
143   var prediction = classifiedImage_2004.reduceRegion({
144     reducer: ee.Reducer.first(),
145     geometry: feature.geometry(),
146     scale: 30 // Роздільна здатність класифікації
147   }).get('classification'); // Назва шару має відповідати вашій класифік
148
149   return ee.Feature(null, {
150     truth: truth,
151     prediction: prediction
152   });
153 });
154 // Обчислення матриці помилок
155 var testAccuracy_2004 = testFeatures_2004.errorMatrix('truth', 'predicti
156 print('Test Error Matrix (2004):', testAccuracy_2004);
157 print('Test Accuracy (2004):', testAccuracy_2004.accuracy());
158
159 // Проведення оцінки точності для 2024 року
160 var testFeatures_2024 = training_2024.map(function(feature) {
161   var truth = feature.get('Class24'); // Істинний клас із тренувальних д
162   var prediction = classifiedImage_2024.reduceRegion({
163     reducer: ee.Reducer.first(),
164     geometry: feature.geometry(),
165     scale: 30 // Роздільна здатність класифікації
166   }).get('classification'); // Назва шару класифікації
167
168   return ee.Feature(null, {
169     truth: truth,
170     prediction: prediction
171   });
172 });
173 // Обчислення матриці помилок для 2024 року

```

Значення пікселів у тренувальних даних 24:	JSON
FeatureCollection (591 elements, 0 columns)	JSON
Test Error Matrix (2004):	JSON
List (6 elements)	JSON
Test Accuracy (2004):	JSON
0.9932318104905938	
Test Error Matrix (2024):	JSON
List (6 elements)	JSON
Test Overall Accuracy (2024):	JSON
0.994088669950739	
Test Kappa Coefficient (2024):	JSON
0.9918805629476357	
Pixel counts for 2004:	JSON
Object (5 properties)	JSON
2004 - Water:	JSON
1745.7490196078425	

Рис.3.13 Проведення оцінки точності класифікації

Результати оцінки точності досить високі, для зображення 2004 року точність класифікації= 99,3% для зображення 2024 року 99,4%

Також розраховано Карра Коэффициент це статистична метрика, яка використовується для оцінки узгодженості між передбаченнями моделі та реальними значеннями. Вона враховує випадкову згоду, що робить її точнішою, ніж проста загальна точність. Отримане значення 99,1% означає ідеальну узгодженість між передбаченнями та істинними значеннями.

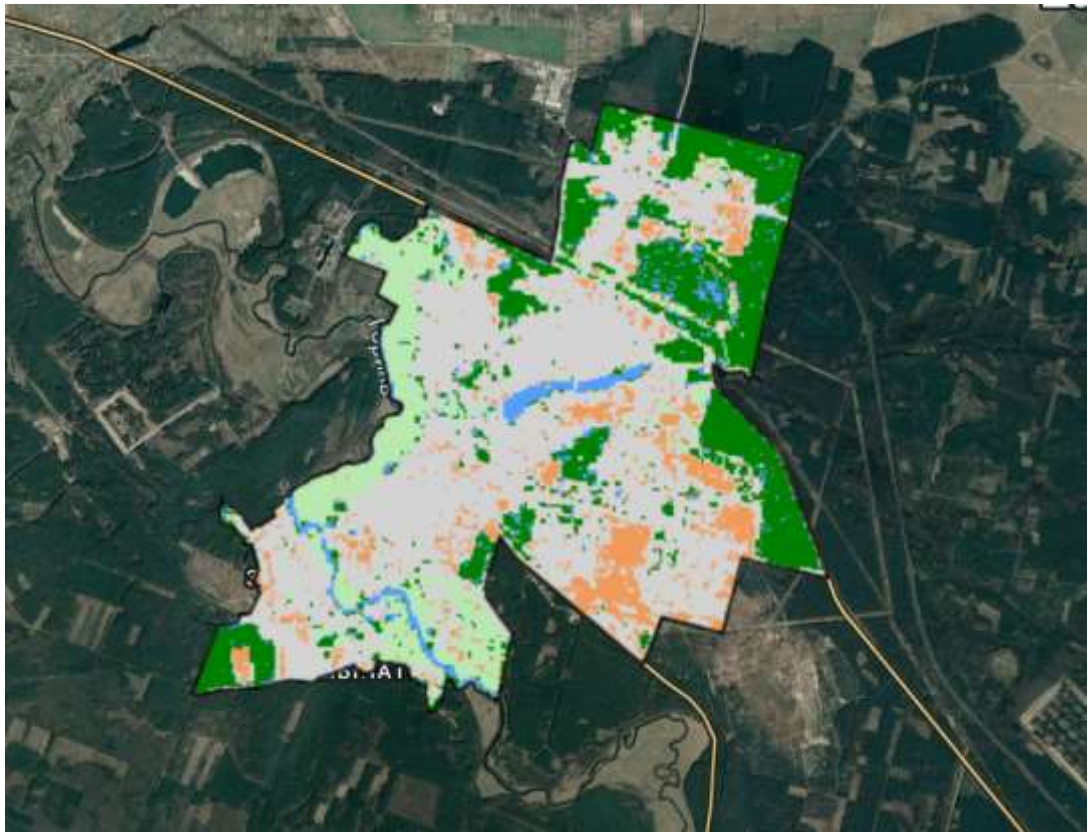


Рис.3.14. Класифікований знімок колекції Landsat 5 2004 року

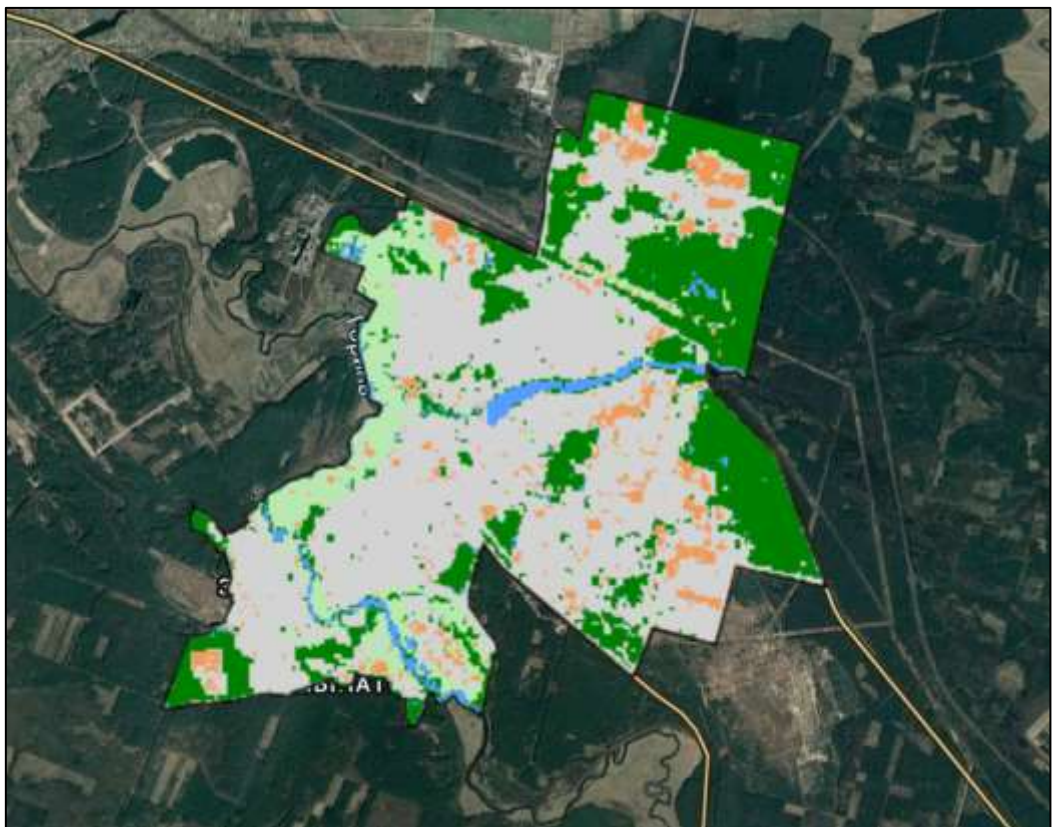


Рис.3.15. Класифікований знімок колекції Landsat 8 2024 року

Наступним кроком є розрахунок кількості пікселів у кожному класі класифікованого зображення для 2004 та 2024 років.

```
140 // Розрахунок кількості об'єктів у класах за кожен рік
141 // Визначаємо класи та їхні назви (з індексацією від 1)
142 var classNames = [
143   'Water', 'Vegetation', 'Soil',
144   'Urban', 'Floodplain'
145 ];
146
147 // Зображення для класифікації (з 2004 та 2024 років)
148 var classifiedImage_2004 = filteredImages.classify(RF_2004);
149 var classifiedImage_2024 = filteredImages1.classify(RF_2024);
150
151 // Функція для обчислення кількості пікселів
152 function calculatePixelCount(image, year) {
153   // Обчислюємо кількість пікселів за кожним класом
154   var pixelCounts = image.reduceRegion({
155     reducer: ee.Reducer.frequencyHistogram(),
156     geometry: Slavuta.geometry(),
157     scale: 30,
158     maxPixels: 1e13
159   });
160
161   // Отримуємо результат як словник
162   pixelCounts = ee.Dictionary(pixelCounts.get('classification'));
163   print('Pixel counts for ' + year + ':', pixelCounts);
164
165   // Додаємо розподіл класів для зручності читання
166   classNames.forEach(function(className, index) {
167     // Зміщуємо індексацію на 1 (Water - 1, Vegetation - 2, ...)
168     var classIndex = (index + 1).toString(); // Перетворюємо індекс у рядок
169     var count = ee.Number(pixelCounts.get(classIndex)).getInfo(); // Отримуємо значення
170     print(year + ' - ' + className + ':', count);
171   });
172 }
```

Рис.3.16. Розрахунок кількості пікселів у класах

Pixel counts for 2024:	Pixel counts for 2004:
▼Object (5 properties)	▼Object (5 properties)
1: 1081.1647058823528	1: 1745.7490196078425
2: 11031.207843137256	2: 8457.372549019616
3: 2242.737254901961	3: 3914.5333333333333
4: 20508.35294117649	4: 19956.83921568629
5: 4208.721568627454	5: 5001.690196078434

Рис.3.17. Результат класифікації космічних знімків, що зображує кількість пікселів кожного класу відповідного знімку

У результаті проведеного аналізу супутникових знімків за 2004 і 2024 роки було створено тематичну карту класифікації території міста та його околиць. Для цього використовувалася платформа Google Earth Engine, яка забезпечила можливість обробки великого обсягу даних та застосування алгоритмів класифікації для визначення різних типів земного покриття.

```

195 // Create panel for map
196 var panel = ui.Panel([], ui.Panel.Layout.Flow('vertical'), { position: 'top-right', padding: '10px', maxHeight: '700px'
197 Map.add(panel);
198
199 // Title
200 var title = ui.Label('Тематична карта класифікації космічного знімку Landsat8 2024 року', { textAlign: 'center', stret
201 panel.add(title);
202
203 // Legend
204 var legendLabel = ui.Label('Умовні позначення', { fontWeight: 'bold', color: 'black', stretch: 'horizontal', textAlign:
205 panel.add(legendLabel);
206
207 // Legend panel
208 var legendPanel = ui.Panel([], ui.Panel.Layout.Flow('vertical'), { stretch: 'horizontal', padding: '5px' });
209 panel.add(legendPanel);
210
211 // Class Water
212 var legendPop = ui.Panel([
213   ui.Checkbox('', true, function(value){ value ? popCenter.setShown(true) : popCenter.setShown(false) }),
214   ui.Label('', { backgroundColor: '#549EFF', height: '15px', width: '15px', border: '0.5px solid grey' }),
215   ui.Label('Вода'),
216 ], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'));
217 legendPanel.add(legendPop);
218
219 // Class Vegetation
220 var legendPop = ui.Panel([
221   ui.Checkbox('', true, function(value){ value ? popCenter.setShown(true) : popCenter.setShown(false) }),
222   ui.Label('', { backgroundColor: 'darkgreen', height: '15px', width: '15px', border: '0.5px solid black' }),
223   ui.Label('Рослинність'),
224 ], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'));
225 legendPanel.add(legendPop);
226
227 // Class Soil
228 var legendPop = ui.Panel([
229   ui.Checkbox('', true, function(value){ value ? popCenter.setShown(true) : popCenter.setShown(false) }),
230   ui.Label('', { backgroundColor: '#F09B59', height: '15px', width: '15px', border: '0.5px solid grey' }),
231   ui.Label('Ґрунт'),
232 ], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'));
233 legendPanel.add(legendPop);
234
235
236
237 // Class Urban
238 var legendPop = ui.Panel([
239   ui.Checkbox('', true, function(value){ value ? popCenter.setShown(true) : popCenter.setShown(false) }),
240   ui.Label('', { backgroundColor: 'lightgrey', height: '15px', width: '15px', border: '0.5px solid grey' }),
241   ui.Label('Забудова'),
242 ], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'));
243 legendPanel.add(legendPop);
244
245 // Class Floodplain
246 var legendPop = ui.Panel([
247   ui.Checkbox('', true, function(value){ value ? popCenter.setShown(true) : popCenter.setShown(false) }),
248   ui.Label('', { backgroundColor: '#B0E8B1', height: '15px', width: '15px', border: '0.5px solid grey' }),
249   ui.Label('Заплави річок'),
250 ], ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'));
251 legendPanel.add(legendPop);

```

Рис. 3.18. Процес створення тематичної карти в ПЗ Google Earth Engine

Створені карти дозволяють візуалізувати просторовий розподіл класифікованих об'єктів, таких як водні об'єкти, рослинність, ґрунт, забудовані території та заплави річок. [Додаток 1] [Додаток 2]



На основі результатів класифікації території за 2004 і 2024 роки можна простежити суттєві зміни у структурі використання земель, які демонструють вплив урбанізації та інших факторів на природні екосистеми.

Площа водних об'єктів помітно зросла, це може бути наслідком появи нових водойм, розширення річкових русел або збільшення підтоплених ділянок, що свідчить про зміни гідрологічного балансу території. Водночас, відсотковий склад класу рослинність, значно зменшився. Дане скорочення може бути викликане

вирубкою лісів, зменшенням зелених зон через розвиток інфраструктури або деградацією природних ландшафтів.

Збільшення площ ґрунту вказує на можливу підготовку до нового будівництва, вирубку лісів або руйнування екосистем. Особливо це помітно у східній частині регіону, де багато ділянок класифікувалися як ґрунт. Це може свідчити про розпочаті будівельні роботи або деградацію рослинного покриву внаслідок антропогенного втручання чи стихійних явищ. Незважаючи на це, площа забудованих територій залишилася стабільною, з незначним зменшенням, що вказує на відсутність значного розширення міських зон протягом аналізованого періоду.

Таким чином, діаграми свідчать про негативний вплив урбанізації на природні екосистеми, що проявляється у скороченні площ рослинності та зміні гідрологічного стану територій. Це підкреслює важливість інтеграції екологічних аспектів у процеси міського планування, аби забезпечити баланс між розвитком інфраструктури та збереженням природних ландшафтів.

Індекс урбанізації земель — це показник, який використовується для оцінки рівня перетворення природних або сільськогосподарських територій на урбанізовані зони, такі як міста, промислові об'єкти, дороги, або інші типи забудованих територій.

Індекс урбанізації земель вираховується за формулою:

$$I = \frac{P_{\text{урб}}}{P_{\text{заг}}} * 100\%$$

Де, I- це індекс урбанізації земель ;

$P_{\text{урб}}$  – це площа урбанізованих земель;

$P_{\text{заг}}$  - загальна площа досліджуваної території.

Високий індекс свідчить про значний рівень урбанізації та, можливо, антропогенного впливу. Низький індекс може означати переважання природних або сільськогосподарських територій.

Для обрахунку індексу необхідно значення обрахованих раніше пікселів перевести в гектари, к-сть пікселів помножити на значення роздільної здатності космічного знімку в квадраті.

Індекс урбанізації земель у 2004 році= 55%, а у 2024 році 50%. Індекс урбанізації зменшився з 55% до 50%, це означає, що за 20 років відбулася деурбанізація або скорочення урбанізованих територій на 5%. Пояснити це можна кількома причинами, залежно від соціально-економічних, демографічних та екологічних чинників. Стара інфраструктура могла стати непридатною для проживання, і частина урбанізованих земель більше не використовується. Впроваджена реалізація екологічних програм із скорочення урбанізації, наприклад, відновлення лісів або водно-болотних угідь. Дані 5%, що дорівнює 0.5 га могли бути відновлені для природного або сільськогосподарського використання.

### 3.3. Пропозиції щодо зменшення негативного впливу урбанізації на природні екосистеми

З розвитком людської цивілізації та науково-технічного прогресу проблеми відносин між природою та суспільством постійно загострюються. різке збільшення за останнє сторіччя обсягів промислового та сільськогосподарського виробництва, розвиток транспорту, енергетики, хімізації, зростання урбанізації негативно впливають на природне середовище.

Тому серед негативних наслідків науково-технічного прогресу дедалі більшого розмаху набуває забруднення атмосферного повітря, водоймищ, деградація ґрунтового покриву, знищення запасів природних ресурсів, порушення стабільності екологічних систем та багато інших.

Цілком очевидною стала необхідність активної боротьби з цими явищами, бо вони загрожують життю людей. Надзвичайно важливою проблемою сьогодення з цієї точки зору є насування екологічної кризи, а за нею й екологічної катастрофи. Наприкінці ХХ століття людство вже реально усвідомило можливість закінчення свого існування на Землі.

Швидко проходить демографічне зростання населення (початок нашої ери - 220 млн. чол., 1900 рік - 1,6 млрд. чол., 1941 р. - 4,5 млрд. чол., 1950 р. - 2,5 млрд. чол.,

1987 р. - 5 млрд. чол., 1996 р - 5,6 млрд. чол.). Це означає, що до наявних фондів споживання треба додати принаймні стільки ж продовольства, житла, лікарень, товарів повсякденного попиту, за допомогою яких можна забезпечити життя цього населення.

Урбанізація міст. Уже до кінця тисячоліття близько 3 млрд. людей або половина жителів планети, буде проживати у містах (в Україні 52 млн. чол., і 35 млн. проживає в містах). Це неминуче призведе до зростання промислового виробництва та енергоспоживання, що, у свою чергу, викличе ще більше забруднення навколишнього середовища, відтак погіршення здоров'я людей.

Країна вже зіштовхнулася з явищами, пов'язаними зі зміною клімату, проте з початком повномасштабної війни кліматичні цілі відійшли на другий план, натомість гуманітарні запити та відновлення економіки потребують нагального вирішення. Воєнні дії лише поглибили проблему зникнення біорізноманіття та ускладнили питання відновлення та збереження природи. Масштабні руйнування населених пунктів та інфраструктури, сотні тисяч гектарів спалених лісів та полів, забруднені внаслідок бойових дій водойми та ґрунти призводять до економічних втрат, додаткових викидів парникових газів та зменшення стійкості порушених екосистем до зміни клімату, створюючи ризики для безпечного життя людини та здоров'я довкілля.

«Природоорієнтовані рішення (nature-based solutions) – дії, спрямовані на захист, збереження, відновлення, стале використання і управління природними або зміненими наземними, прісноводними, прибережними та морськими екосистемами, які в ефективний і адаптивний спосіб сприяють вирішенню соціальних, економічних і екологічних викликів. ПОР впливають на добробут людей, послуги екосистем і їхню стійкість, а також мають переваги для біорізноманіття» [28]. Це визначення схвалене на 5-й сесії Асамблеї ООН з навколишнього середовища (UNEA) у березні 2022 року як результат розуміння потенціалу ПОР для досягнення цілей міжнародних конвенцій та угод, направлених на сталий розвиток та охорону природи.

Природоорієнтовані рішення – відносно нове поняття для України, яке не згадується в законодавстві, проте там присутнє. Враховуючи зміст поняття

«природоорієнтовані рішення» та визнання на міжнародному рівні потенціалу ПОР для досягнення кліматичних цілей, цілей сталого розвитку і збереження біорізноманіття, впровадження ПОР в порядок денний реформ України є необхідним кроком. Це також надзвичайно актуально у зв'язку із сучасними викликами, пов'язаними з російською воєнною агресією проти України та потребою повоєнного відновлення з урахуванням подальшого розвитку країни в умовах зміни клімату. Такий підхід може бути здійснено як через зміни загальнодержавної політики, так і зміни в секторальних політиках.

Перелік перспективних ПОР у водному, лісовому та аграрному секторах, які можуть сприяти повоєнному відновленню та сталому розвитку України в умовах зміни клімату, включає відновлення та впорядкування джерел і витоків річок, відновлення заплав та управління ними, встановлення і захист прибережних захисних смуг і водоохоронних зон, ренатуралізацію річок, збереження та обводнення торфовищ, наближене до природи лісівництво, збереження заплавних і заболочених лісів, пралісів та інших старовікових лісів, самосійних лісів, відновлення лісових ландшафтів, вуглецеве землеробство, ресурсозберігаючі та інші агроекологічні практики, повернення елементів природи в агроєкосистеми, агролісівництво тощо. Вказані ПОР мають певне історичне, наукове та законодавче підґрунтя, проте для їхнього успішного впровадження в широких масштабах потребують підтримки та розвитку як існуючих політик, так і прийняття нових амбітних політичних рішень.

Ключові рішення Програми розвитку ООН — це комплексний підхід до реагування на виклики у сфері розвитку, що передбачає мобілізацію наявних ресурсів та експертного потенціалу, які спрямовуються на досягнення реального впливу. Таких рішень шість, включаючи природоорієнтовані рішення на благо розвитку.

Кожне рішення передбачає поєднання політичних рекомендацій, технічної допомоги, фінансування і програм. Кожне рішення має потенціал відкрити шлях до сталого розвитку, проте жодне рішення не може стати успішним саме по собі — для досягнення Цілей сталого розвитку їх необхідно виконувати в комплексі.

В Україні ПРООН працює з тематикою збереженням та сталого використання торфовищ та реконструкції систем дренажних каналів у рамках своїх проєктів екологічного спрямування.

У 2019 році Лабораторія Інноваційного розвитку ПРООН запустила окремий напрямок «Інновації від природи» для підтримки природоорієнтованих рішень у містах і проєктів на основі біомімікрії. Наразі Лабораторія, разом з громадською організацією «Агенти змін» та екоактивістами розробляє п'ять природоорієнтованих експериментів у Києві. [29]

Урбанізація в місті Славута, як і в багатьох інших містах, створює значний тиск на природні екосистеми, проте існують способи мінімізувати цей негативний вплив. Одним із ключових напрямів є активне озеленення міського простору. Це передбачає створення та відновлення парків і скверів, розвиток зелених коридорів, які поєднують природні екосистеми, а також інтеграцію зелених насаджень у міську інфраструктуру.

Особливу увагу варто приділити збереженню водних ресурсів. Річка Горинь та її прибережні території потребують очищення від сміття, відновлення природного ландшафту та створення захисних буферних зон із рослинністю. Сучасні системи очищення дощових вод, зокрема з використанням водно-болотних угідь, допоможуть знизити забруднення водойм. Водночас необхідно обмежити забудову в прибережних зонах для збереження природних ландшафтів.

Розвиток екологічного транспорту, як-от велосипедна інфраструктура, електротранспорт і громадський транспорт, сприятиме зниженню викидів шкідливих речовин. Впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, зменшить енергетичний слід міста. Також важливо впроваджувати сучасні системи сортування та переробки сміття, організовувати компостування органічних відходів і підтримувати регулярні акції з очищення міських територій.

Значну роль у покращенні екологічної ситуації відіграє підвищення екологічної свідомості громадян. Це можна досягти через освітні програми, волонтерські заходи та залучення місцевої громади до ініціатив із захисту природи. У поєднанні з природоорієнтованими рішеннями, такими як створення екокоридорів і міських

водно-болотних угідь, місто може не лише адаптуватися до змін клімату, а й покращити якість життя мешканців.

Для довготривалого результату необхідно також проводити екологічний моніторинг, співпрацювати з науковими установами й розробляти стратегії сталого розвитку, які враховують як потреби урбаністичного розвитку, так і збереження довкілля. Таким чином, місто має всі шанси стати прикладом гармонійного поєднання урбанізації та природоохоронної діяльності.

#### Висновки:

Урбанізація є одним із найбільш потужних факторів трансформації природних екосистем у сучасному світі. Аналіз супутникових знімків міста Слаута за 2004 та 2024 роки виявив негативний вплив урбанізації на структуру та функціонування природного середовища. Зміни, що сталися за цей період, включають зменшення площ рослинності, збільшення відкритих ґрунтових ділянок та трансформацію водних об'єктів і заплав річок. Такі зміни вказують на значний антропогенний вплив, що призводить до втрати біорізноманіття, деградації природних ландшафтів та порушення екологічного балансу.

Зменшення площі рослинності свідчить про активну зміну землекористування, включаючи вирубку лісів та скорочення зелених зон, які відіграють ключову роль у підтримці екосистемних послуг, таких як очищення повітря, регуляція водного балансу та забезпечення місць проживання для тварин. Зростання площі ґрунтових ділянок може вказувати на початок нових забудов або деградацію територій, що, у свою чергу, сприяє збільшенню ерозії, зниженню родючості ґрунтів та погіршенню екологічного стану регіону.

Зміни водних об'єктів і заплав річок свідчать про порушення гідрологічного режиму, які можуть бути спричинені як природними процесами, так і діяльністю людини, це також вказує на потребу посилення контролю над водними ресурсами для запобігання деградації екосистем.

Незначне зменшення забудованих територій може бути пов'язане з руйнуванням старих забудов, перенесенням інфраструктури чи тимчасовими змінами

у використанні земель. Проте навіть такі зміни не обов'язково свідчать про зменшення урбанізації, оскільки відкриті ґрунтові ділянки можуть свідчити про підготовку до нових будівництв.

Для зменшення негативного впливу урбанізації на природні екосистеми необхідно вживати комплексних заходів для збереження та відновлення зелених зон, використання природних екосистем для регулювання клімату, водного балансу та збереження біорізноманіття. Необхідно інтегрувати екологічні принципи в процеси міського планування, зокрема створення екокоридорів, зелених дахів та парків, які сприятимуть сталому розвитку міст. Необхідно забезпечити збереження гідрологічного балансу через охорону заплав, регулювання водозборів та контроль за забрудненням водойм. Також варто створювати освітні програми та кампанії для залучення населення до збереження природи та дбайливого використання ресурсів.

Таким чином, зменшення негативного впливу урбанізації на природні екосистеми є критично важливим завданням, що потребує інтеграції екологічних, соціальних та економічних підходів. Забезпечення гармонійного співіснування людини та природи можливе лише за умови сталого розвитку, який враховує довгострокову екологічну стійкість та добробут майбутніх поколінь.

## Список використаної літератури

1. Екологічне право України : підручник / А. П. Гетьман, Г. В. Анісімова, А. К. Соколова та ін. ; за ред. А. П. Гетьмана. Харків : Право, 2019. С. 348.
2. Озерова Г.Н., Покішевский В.В. Географія світового процесу урбанізації. М., 2001.
3. Кучерявий В.П. Урбоекологія. - Львів: Світ, 1999. - 320с.
4. Білявський Г.О., Падун М.М., Фуидуй Р.С. Основи загальної екології. - К.: Либідь, 1995.-368с.
5. Основи екології: Підручник / Г.О. Білявський, Р. С. Фрудуй, І. Ю. Костіков. – К.: Либідь, 2004. – 408 с.
6. ЗАКОН УКРАЇНИ Про охорону навколишнього природного середовища (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546)
7. Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII Про оцінку впливу на довкілля
8. ЗАКОН УКРАЇНИ Про природно-заповідний фонд України
9. Водний кодекс України (1995 р.)
10. Закон України "Про регулювання містобудівної діяльності" (2011 р.)
11. Державні будівельні норми України (ДБН)
12. Borucke, M; Moore, D; Cranston, G; Gracey, K; Lazarus, E; Morales, J.C.; Wackernagel, M. (2013). "Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework". Ecological Indicators. 24: 518–533.
13. Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків : монографія / С. П. Іванюта, А. Б. Качинський. – К. : НІСД, 2012. –284 308 с.
14. Васильєв, А. А., та Полякова, І. О. (2012). Методи оцінки антропогенного впливу на міські екосистеми. Довкілля та здоров'я, 1(58), 21-25.

15. Шевчук, І. С., та Олійник, В. І. (2015). Методологія оцінки екологічного сліду для урбанізованих територій. Проблеми екологічної безпеки та сталого розвитку, 1, 17-21.
16. Footprintcalculator.org [Архівовано 2 жовтня 2019 у Wayback Machine.]: an interactive, flash-animated, Footprint calculator for individuals
17. • Романова, О. О., та Литвиненко, О. І. (2017). Екологічні індекси оцінки урбаністичних екосистем. Екологічний науковий журнал, 2, 25-30.
18. • Хижняк, Т. В., та Шевченко, А. В. (2019). Екологічна оцінка урбанізації та її вплив на природні екосистеми міста. Сучасні проблеми екології, 5(2), 63-69.
19. Водно-болотні угіддя Дніпровського екологічного коридору / В.І. Мальцев, Л.М. Зуб, Г.О. Карпова, В.А. Костюшин, В.М. Титар, А.В. Мішта, О.Д. Некрасова — К. : Недержавна наукова установа Інститут екології ІНЕКО, Карадазький природний заповідник НАН України, 2010.— 142 с.
20. Томченко О.В. Явище «цвітіння води» [Електронний ресурс] / О. В. Томченко — Режим доступу до ресурсу: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Явище\\_«цвітіння\\_води»\\_на\\_прикладі\\_Каховського\\_водосховища.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Явище_«цвітіння_води»_на_прикладі_Каховського_водосховища.jpg).
21. Тарасова, А. Н. (2015). Социально-экономические аспекты устойчивого развития урбанизированных территорий. Проблемы устойчивого развития, 2, 35-42.
22. Савіна, Н. О. (2018). Екологічний слід як показник впливу людської діяльності на екосистеми. Економіка природокористування, 21-25.
23. ЗВІТ про стратегічну екологічну оцінку до проекту «Програма соціально-економічного та культурного розвитку Славутської міської територіальної громади на 2024 рік»
24. ЗВІТ про стратегічну екологічну оцінку до проекту «Програма соціально-економічного та культурного розвитку Славутської міської територіальної громади на 2021 рік».
25. Екологічний паспорт Хмельницької області за 2019 рік

26. Науково-технічний журнал № 2 (24)-2021 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ І ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ GOOGLE EARTH ENGINE ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

27.1 Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M.,PLYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R. // Remote Sens. Environ. – 2017. – № 202. – 18–27.

28. Nature-based solutions for supporting sustainable development (English Version). UNEP/EA.5/Res.5 : Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022. URL: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39864/NATUREBASED%20SOLUTIONS%20FOR%20SUPPORTING%20SUSTAINABLE%20DEVELOPMENT.%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

29. Лабораторія Інноваційного розвитку ПРООН [Архівовано 28 лютого 2020 у Wayback Machine.]

