



УДК [004.4:528.8]+[910:004.65]

## Стандартизація оцінки площ лісового господарства для формування геопросторового забезпечення моніторингу використання земель

К.А. Мамонов<sup>1</sup>, В.А. Величко<sup>1</sup>, О.Є. Поморцева<sup>1</sup>, В.О. Грянік<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харків, Україна  
kostia.mamonov2017@gmail.com

<sup>2</sup> Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова (Чернишевського), 24а, 49005, Дніпро, Україна

### Анотація

У статті розглядається моніторинг стану та змін площ зелених насаджень. Оцінка динаміки розподілу площ дозволила б приймати рішення щодо вживання відповідних заходів з підтримання площ “легенів міста” на відповідному рівні. Наявні проблеми оцінки стану лісопаркового господарства в складних середовищах, таких як міста, пропонується вирішувати за рахунок використання таких програмних продуктів, як ERDAS IMAGINE та ArcGIS для обробки та подальшого аналізу космознімків території. Для вирішення завдання з прогнозування зміни площі лісопаркового господарства протягом часу та моделювання парної лінійної регресії запропоновано використання вбудованої мови програмування у геоінформаційній системі ArcGIS. Розроблений додаток із інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом надасть можливість зручно працювати з базами даних та атрибутивною інформацією, графікою та зображеннями. Розробка передбачає п'ять варіантів виконання обчислень, що дозволяє проводити аналіз результатів у кожному з передбачених варіантів перебігу подій. Усі розрахунки було виконано на прикладі Харківського лісопарку “Сокольники-Помірки”. Було розроблено алгоритм обробки й аналізу космічних знімків. Запропонований алгоритм можна застосувати для підвищення оперативності моніторингу стану лісів, а також виконання прогнозування змін не тільки в Харкові, а й в інших містах України та світу. У статті продемонстровано можливості геоінформаційних систем при проведенні моніторингу зелених насаджень, які дозволяють із мінімальними часовими витратами виконувати подібні роботи.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі; геоінформаційна система; супутник; космічний знімок; мова програмування; інтерфейс.

Отримано: 16.03.2023

Відредаговано: 28.03.2023

Схвалено до друку: 31.03.2023

### Постановка проблеми

У зв'язку зі зростаючими масштабами антропогенного впливу на природу підвищується актуальність проведення об'єктивного екологічного моніторингу. Використання космічних знімків у цьому випадку дозволяє досягти повного одноразового охоплення території, провести екологічну оцінку не тільки в межах окремих пунктів спостережень, а й на будь-якій вибраній ділянці, незалежно від її віддаленості та транспортної доступності. Супутниковий моніторинг може здійснюватися практично безперервно, що дозволяє простежити зміни та динаміку екологічних процесів. Екологічний моніторинг на основі застосування даних дистанційного зондування Землі

(ДЗЗ) відповідає вимогам існуючих екологічних стандартів та нормативів [1]. У зв'язку з тим, що знімки проходять обробку та отримують прив'язку до географічних координат, можна визначити негативні зміни у лісових та сільських господарствах, а саме незаконні вирубки чи зменшення площ внаслідок антропогенного втручання.

Актуальність і практичний аспект роботи пов'язані з тим, що наразі для подальшого аналізу супутникових знімків необхідне спеціалізоване програмне забезпечення. Розробка якісних методів і алгоритмів підготовки до аналізу й тематичної обробки супутникових знімків значно спростить і підвищить оперативність моніторингу, зокрема лісового господарства.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для отримання достовірної інформації про наземні об'єкти, яка міститься на космічних знімках (КЗ), необхідне їх спеціалізоване дешифрування: геологічне, океанографічне, гідрологічне, географічне тощо. Масштаби знімків, які використовуються для геологічного дешифрування, різноманітні: від 106 до 108. Залежно від масштабу зйомки, площа місцевості, що охоплюється одним кадром, змінюється від декількох тисяч км<sup>2</sup> до цілих континентів. Дешифрування космічних знімків проводиться візуально за контактними і збільшеними знімками інструментальним способом [2]. В останньому випадку використовуються як прості стереоскопи, так і універсальні стереофотограмметричні прилади. Критерії, які використовуються при дешифруванні космічних знімків, в основному такі ж, що і при дешифруванні аерофотознімків (АФЗ). Відмінності полягають у тому, що на космічних знімках відбувається генералізація і зменшення детальності зображення об'єктів, інтеграція окремих рисунків побудови зображення у великі системи, які видно на космічних знімках і які не вловлюються на аерофотознімках [3].

Унікальною особливістю космічних знімків є можливість охоплення всього явища в цілому, що дає можливість об'єктивно узагальнювати необхідні дані комплексно і з урахуванням взаємозв'язків з іншими показниками та чинниками.

Зелені насадження є важливим аспектом здорового міського середовища. Для належного управління містом необхідна кількісна оцінка структури змін зелених насаджень. Наприклад, для дослідження ситуації з зеленими насадженнями Дакки (Індія) на проміжку часу між 1989 і 2020 роками використовувалися геоінформаційні системи (ГІС) і дистанційне зондування. Для аналізу використовували супутникові знімки Landsat із роздільною здатністю 30 метрів. За допомогою аналізу NDVI було виконано розрахунок загальної зміни рослинності та диференціацію здорових і нездорових зелених насаджень. Це дозволяє виявляти приріст чи втрату зелених насаджень, що у свою чергу впливає на здорове життя міського населення [4].

Завдяки розвитку технології дистанційного зондування можна досягнути значного прогресу в оцінці екосередовища. Екологічний індекс дистанційного зондування є одним із найбільш широко використовуваних індексів для комплексної оцінки якості екологічного середовища. За допомогою цього індексу можна швидко контролювати екологічні аспекти на великих територіях. Однак використання екологічного індексу має обмеження. Його застосування обмежене тим, що отримані результати мають стохастичний характер, а процес його розрахунку не

може врахувати всі екологічні елементи (особливо елемент води). На відміну від екологічного індексу, екологічний індекс дистанційного зондування враховує всі елементи. Цей індекс надає більш стабільності та точності. Це дозволяє більш точно та комплексно реалізовувати політику захисту навколишнього середовища [5].

Якщо порівнювати переваги поєднання двох технологій отримання даних ДЗЗ – повітряної (лазерне сканування, хмари точок на основі зображень) і супутникової, то можна дійти висновку, що моделі, які використовують комбіновані дані дистанційного зондування з повітря та супутника, ефективніші для лісів, ніж дані, отримані окремо з повітря чи супутника. Для класів, які часто зустрічаються (лісовий масив, окремі насадження), ця технологія дає точність із показниками від 0,60 до 0,87. Тобто потенціал такого процесу доволі високий, зокрема для використання у сфері моніторингу лісів [6].

Технологічний розвиток супутникових зображень покращується досить суттєво в наш час із точки зору просторової, спектральної, радіометричної та часової роздільної здатності, що дозволяє просторово-часове спостереження, класифікацію та моніторинг рослинності на поверхні Землі. Проте існують проблеми для оцінки в складних середовищах, таких як міста. Наступні ключові фактори виявилися вкрай важливими при виконанні екологічного моніторингу – розмір території, яку потрібно оцінити, доступна роздільна здатність зображення [7].

Світова практика показує, що засоби та інструменти геоінформаційних систем мають великий потенціал щодо вирішення задач з екологічного моніторингу.

### Виклад основного матеріалу

Завдання з виявлення динаміки процесу зміни площ лісопаркового господарства полягає у застосуванні цифрових методів обробки багатозональних космічних зображень для підвищення оперативності моніторингу стану лісів, а також виконання прогнозування.

В основу дослідження було покладено методи кластерного та регресійного аналізу. Для цих цілей було використано програмні продукти ERDAS IMAGINE (перші чотири етапи) та ArcGIS (останній етап) [8]. Етапи проведення дослідження наведено на рис. 1.

Оскільки до складу програмного продукту ERDAS IMAGINE не включено мову програмування, яка необхідна для вирішення завдання з прогнозування зміни площі лісопаркового господарства протягом часу, моделювання парної лінійної регресії було виконано в середовищі ArcGIS. Для цього було конвертовано шари класифікованих знімків у цю геоінформаційну



Рис. 1. Етапи обробки й аналізу знімків

систему, а початкові дані було введено з атрибутивних таблиць відповідних шарів [9, 10]. Завдяки підтримці цієї ГІС мови програмування VBA було створено додаток для аналізу зміни площ лісопаркового господарства за часом.

*Розробка алгоритму розв'язання задачі*

Початкові дані:

$x(n)$  – масив фактора (роки) з  $n$  елементів, тип цілий;

$y(n)$  – масив показника з  $n$  елементів, тип дійсний.

Результати:

$a, b$  – коефіцієнти парної лінійної регресії, тип дійсний;

$yr(n)$  – масив розрахункових значень  $\hat{y}_i, i=1...n$ , тип дійсний;

$r$  – коефіцієнт кореляції, тип дійсний;

$F$  – значення Фішера, тип дійсний;

$F_T$  – табличне, тип дійсний;

$du(n), dyp$  – значення надійних меж регресії та прогнозу, тип дійсний;

$Y_{\min}(n), Y_{\max}(n)$  – масиви значень надійних зон регресії, тип дійсний;

$Y_{\min i} = y_{ri} - d_{yi}, Y_{\max i} = y_{ri} + d_{yi}, i=1...n$ ;

$Y_{r\min}, Y_{r\max}$  – значення надійних зон прогнозу, тип дійсний;

$Y_{r\min i} = y_{rp} - d_{yp}, i=1...n, Y_{r\max i} = y_{rp} + d_{yp}$ .

Збільшену схему алгоритму з поясненнями виконуваних дій наведено на рис. 2. Символами 1, 2, 3, 7, 8 і 9 позначено зумовлені обчислювальні процеси, яким відповідають процедури мови VBA.

Обчислення значень змінних і масивів виконується за відповідними формулами моделі парної лінійної регресії. Введення початкових даних (символ 1) здійснюється шляхом пересилки



Рис. 2. Збільшена схема алгоритму розв'язання задачі

даних у масиви  $x$ ,  $y$  з атрибутивних таблиць шарів, які конвертовані в ArcGIS.

Параметри регресії (символ 2) обчислюються у такому порядку:

1. Значення коефіцієнтів регресії  $a$ ,  $b$  – формули (1) і (2).
2. Розрахункові значення  $y_{ri} (i=1...n)$  – формула (3).
3. Коефіцієнт кореляції  $r$  – формула (4).
4. Індекс  $R$  кореляції – формула (5).

Відповідно до методу найменших квадратів формули для знаходження коефіцієнтів  $a$  і  $b$  рівняння регресії мають вигляд:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}, \quad (1)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - a \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{y} - a \bar{x}, \quad (2)$$

де  $\bar{x}$  – середнє значення фактора  $X$ .

$$\bar{y}_i = ax_i + b, \quad (3)$$

де  $a$ ,  $b$  – параметри, що вишукуються (коефіцієнти регресії). Коефіцієнт  $a$  – це тангенс кута нахилу лінії регресії до осі  $Ox$ , а коефіцієнт  $b$  – це відрізок, що відсікається на осі  $Oy$  лінією регресії;  $\bar{y}_i$  – оцінка показника в точці  $X_i, i=1...n$ ;  $n$  – число вимірів (для нашої задачі  $n=6$ ).

Для визначення ступеня зв'язку лінійної залежності між випадковими величинами ( $X$ ,  $Y$ ) використовується коефіцієнт кореляції  $r(X, Y)$ , який розраховується за формулою:

$$r(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (4)$$

Для визначення рівня кореляції між спостережуваними  $y_i$  і розрахунковими значеннями  $\bar{y}_i$  використовується індекс кореляції  $R$ , який обчислюється за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (5)$$

Для перевірки адекватності обчислюється значення Фішера  $F$  (символ 3) за формулами (6), (7) і (8), яке порівнюється з табличним значенням  $F_T = 7,71$  (символи 4, 5 і 6). Якщо  $F > F_T$ , то виводиться повідомлення “Модель адекватна”

(символ 5), інакше – повідомлення “Модель не адекватна” (символ 6).

Обчислення значення Фішера за формулою:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{y_{\text{ост}}}^2}, \quad (6)$$

де  $S_y^2$  – незмішена оцінка загальної дисперсії, яка обчислюється за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}, \quad (7)$$

де  $(n-1)$  – число мір свободи при визначенні дисперсії  $S_y^2$ ;  $S_{y_{\text{ост}}}^2$  – залишкова дисперсія (сума квадратів залишків).

$S_{y_{\text{ост}}}^2$  характеризує розсіяння експериментальних точок відносно рівняння регресії та обчислюється за формулою:

$$S_{y_{\text{ост}}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n-k}, \quad (8)$$

де  $k$  – число оцінюваних коефіцієнтів регресії.

Надійні межі базисних розрахункових значень  $y_{ri} (i=1...n)$  обчислюються за формулами (9) – (11).

$$\hat{y}_i \pm \Delta \hat{y}_i \left( Y_{\min} = \hat{y}_i - \Delta \hat{y}_i, Y_{\max} = \hat{y}_i + \Delta \hat{y}_i, i=1...n \right), \quad (9)$$

$$\Delta \hat{y}_i = t(\alpha, k) \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (10)$$

де  $t(\alpha, k)$  – табличне значення  $t$ -розподілу Стьюдента;  $S$  – незсувна статистична оцінка середнього квадратичного відхилення.

$S$  обчислюється за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}}. \quad (11)$$

Надійні межі прогнозованих значень  $y_{pi} (i=1...n)$  обчислюються (символ 8) за формулами (12) і (13):

$$y_p = ax_p + b. \quad (12)$$

Межі надійних інтервалів індивідуальних прогнозних значень визначаються формулою  $y_{pi} \pm \Delta y_{pi}$ .

$$\Delta \bar{y}_{pi} = t(\alpha, k) \cdot S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_{pi} - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (13)$$

*Розробка графічного інтерфейсу програми*

Головна мета додатку – забезпечити зручність і ефективність роботи з інформацією: базами даних, графікою або зображеннями. Тому розробка

інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу надасть можливість зручно працювати з документами і даними.

При розробці інтерфейсу будемо керуватися такими принципами:

1. Стандартизація (дизайн форми, значки на кнопках управління, назви елементів).
  2. Зручність і простота роботи, ергономічний дизайн.
  3. Групування елементів управління на формі.
- Згідно з алгоритмом розв'язання задачі (див. рис. 2) графічний інтерфейс повинен забезпечити виконання таких дій:
- відображення початкових даних і результатів;
  - моделювання парної лінійної регресії;
  - прогнозування розподілу площі зелених насаджень за часом;
  - відображення результатів у вигляді графіків і діаграм.

Для управління процесом вирішення цих задач було включено у форму керуючі кнопки з назвами: “Модель регресії”, “Прогноз”, “Діаграми 2015 р.”, “Діаграми 2020 р.”, “Надійний інтервал” та “Вихід”. Кнопки використовуються для вибору варіантів обчислень у процесі виконання програми.

#### Аналіз результатів виконання програми

При натисканні будь-якої кнопки управління запускається на виконання відповідна процедура обробки події. При проведенні аналізу результатів обчислень у кожному з передбачених варіантів було отримано такі результати.

**Варіант 1.** При натисканні кнопки “Модель регресії” обчислюються параметри парної лінійної регресії з використанням початкових даних. Результати моделювання відображаються у текстових полях панелі “Регресія” та “Аналіз парної

лінійної регресії”, а також на графіку лінійної регресії (рис. 3).

Моделювання виконувалося на інтервалі часу від 1992 до 2020 р. Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити такі висновки:

1. Коефіцієнт кореляції  $r = -0,9927$ , що свідчить про тісний лінійний зв'язок фактора і показника. Знак мінус означає, що між показником і фактором існує зворотна залежність (при зростанні фактора  $X$  спадає показник  $Y$ ).

2. Значення індексу кореляції  $R = 0,9927$  свідчить про те, що спостережувані дані наближаються до лінії регресії. Цей висновок підтверджує графік залежності  $Y$  від  $X$ .

3. Оскільки  $F_p > F_T$ , то з надійністю  $P = 0,95$  модель регресії  $Y = -1,7992x + 5352,14$  можна вважати адекватною експериментальним даним і на підставі прийнятої моделі можна проводити аналіз стану зелених насаджень із часом. Програма вивела текст “Модель адекватна даним”, оскільки виконується умова  $F_p > F_T$ .

4. Аналіз графіка залежності площі лісопарку від часу показує, що підтверджується загальна тенденція зменшення площі лісу з часом.

**Варіант 2.** Виведення результатів у вигляді діаграми. Цей варіант обчислень виконується, як і у першому варіанті. При натисканні кнопки “Діаграма 2015р.” обчислюються параметри парної лінійної регресії, але замість графіка виводиться діаграма розподілу площі лісу за період від 1992 до 2015р. (рис. 4). При побудові діаграми обчислюються відсотки площі лісу Харківського лісопарку по відношенню до площі лісу в 1987р., яка на 01.11.1987 р. становила 2093 га.

Аналіз діаграми показує, що за 28 років площа лісу Харківського лісопарку зменшилася на 17%. З 1992 по 2015 р. темпи зменшення площі

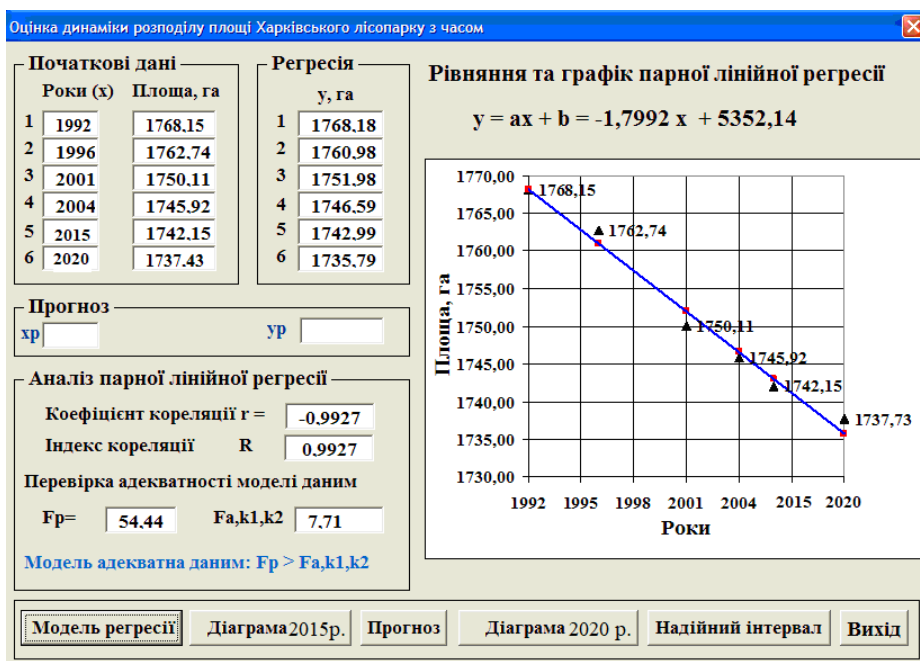


Рис. 3. Вигляд вікна додатку при натисканні кнопки “Модель регресії”

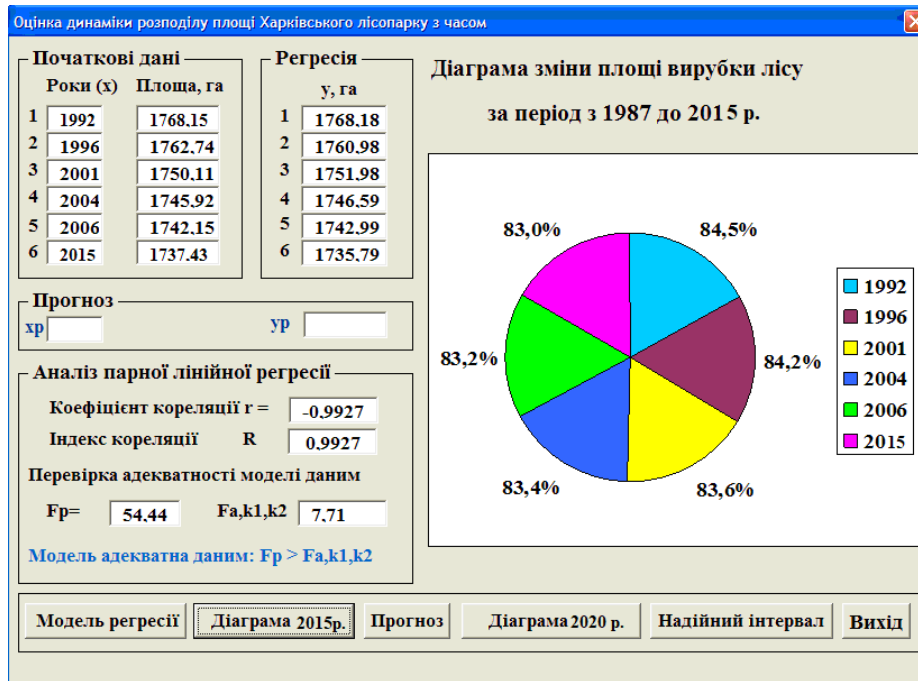


Рис. 4. Вигляд вікна додатку при натисканні кнопки "Діаграма 2015 р."

лісу уповільнилися, хоча тенденція зміни стану залишається. Таким чином, використання діаграми дозволяє наочно на кількісному рівні оцінити зміни стану лісового господарства з часом.

**Варіант 3.** Прогноз на 2024 р. Було виконано прогноз стану лісопарку на декілька років. Обчислення значення площі лісу на 2024р. виконується при натисканні кнопки "Прогноз". Для значення фактора  $x_p = 2024$  середнє значення прогнозу показника  $y_p = 1730,39$  га. Площа лісу зменшилася на 5 га порівняно з 2015 р.

**Варіант 4.** Надійні межі прогнозу. Цей варіант обчислень реалізується при натисканні кнопки "Надійний інтервал". Обчислюються мінімальні

$Y_{\min}$  та максимальні  $Y_{\max}$  значення показника при  $i = 1...n$  (рис. 5).

Аналіз отриманих результатів показує, що для значення фактора  $x_p = 2024$  середнє значення показника  $\hat{y}_p = 173,39$  з надійністю  $P = 0,95$  буде знаходитися у межах від 1725 до 1736 значення. Тобто прогнозоване значення площі лісу на 2024р. знаходиться в надійних межах. Крім того, аналіз графіка показує, що якнайкращі результати із заданою надійністю слід чекати в околі точки  $(\bar{x}, \bar{y})$ . У нашому випадку це 2011 р. Надійна зона збільшується при віддаленні  $x$  від значення  $\bar{x}$  (рис. 5).

Отже, моніторинг лісопаркового господарства включає до себе чотири обов'язкові етапи обробки

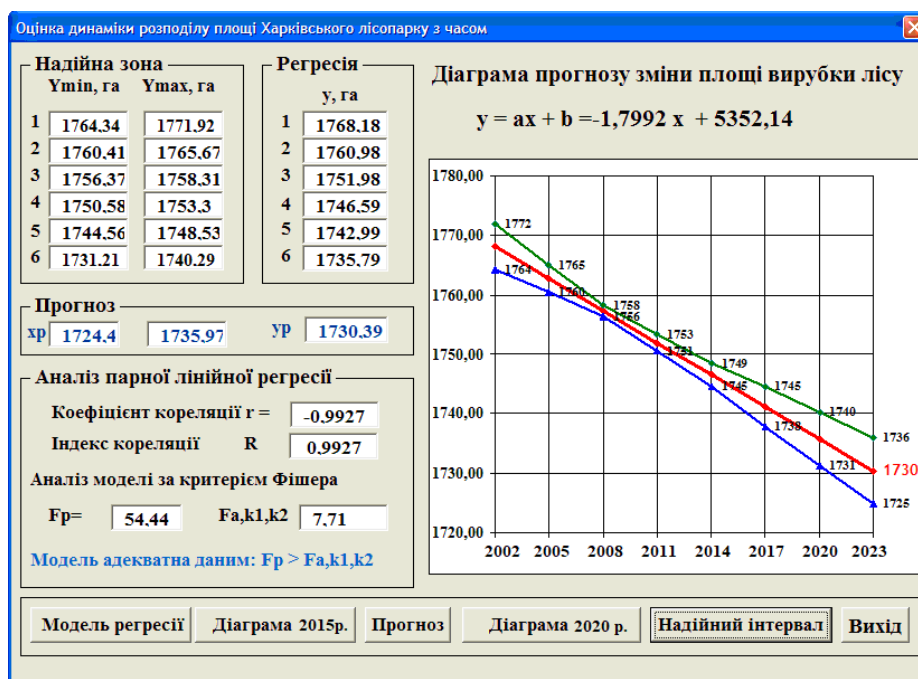


Рис. 5. Вигляд вікна при натисканні кнопки "Надійний інтервал"

даних дистанційного зондування землі, а потім безпосередньо аналіз отриманої інформації щодо розподілу площ. Дотримання цих етапів та послідовне виконання кожного з них дозволить швидко контролювати екологічні аспекти на великих територіях і значно прискорити виконання заходів щодо виправлення ситуації за потреби.

Насамкінець слід зазначити, що розвинений у статті підхід із позиції метрології можна розглядати як невід'ємну частину процедури аналізу результатів непрямих вимірювань площі лісу, які ґрунтуються на комп'ютерному опрацюванні космічних знімків лісового об'єкта. Відповідна модель вимірювань має враховувати всі суттєві фактори, що впливають на результати вимірювань (допуски при визначенні меж лісових масивів, роздільну здатність супутникових знімків, неточності комп'ютерного опрацювання і т. п.). Це дасть змогу аналізувати вплив окремих факторів на точнісні характеристики одержуваної під час обробки залежності площі лісу від часу. Завдання в такому формулюванні є досить складним і потребує окремого розгляду.

#### Результати

1. Розроблено алгоритм обробки й аналізу багатозональних космічних знімків.

2. Розроблено додаток мовою VBA, який дозволяє аналізувати зміни площ лісопаркового господарства за часом.

#### Висновки

Внаслідок проаналізованого світового досвіду було запропоновано певний підхід при обробці та аналізі космічних знімків. Саме за допомогою геоінформаційних технологій на прикладі Харківського лісопарку "Сокольники-Помірки" було розроблено програму оцінки динаміки розподілу площі за часом. Запропонована послідовність дій щодо застосування геоінформаційних технологій для аналізу отриманого за допомогою дистанційного зондування графічного матеріалу показала, що за останні роки площа лісу Харківського лісопарку зменшилася на 17%, хоча в останні роки темпи зменшення площі лісу уповільнилися, тенденція зміни стану залишається.

Використання космічних знімків дозволяє швидко і ефективно контролювати зміни площ зелених насаджень. Крім того, використання геоінформаційних систем для прогнозування зміни площі лісу протягом часу дозволить із мінімальними часовими витратами виконувати подібні роботи.

## Monitoring of forest management. Prediction of area change

K. Mamonov<sup>1</sup>, V. Velychko<sup>1</sup>, O. Pomortseva<sup>1</sup>, V. Gryanyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Marshal Bazhanov Str., 17, 61002, Kharkiv, Ukraine  
kostia.mamonov2017@gmail.com

<sup>2</sup> Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Architect Oleg Petrov Str., 24a, 49005, Dnipro, Ukraine

#### Abstract

The current problems of monitoring of the state and changes in areas of green plantings are considered. The assessment of dynamics of the distribution of forest park plantations would allow making decisions on taking appropriate measures for forest restoration or sanitary logging to maintain the areas of the "lungs of the city" at the appropriate level. The analysis of global trends in the use of GIS and remote sensing to study the situation with green plantings shows that this allows obtaining up-to-date and reliable information promptly. Namely, it enables quick monitoring of ecological aspects on large areas and significantly speeds up taking necessary measures, if necessary. The available approaches to observe the tasks of monitoring of green areas are analysed. The existing problems of assessing the state of the forest park economy in complex environments such as cities are proposed to be solved by using software products such as ERDAS IMAGINE and ArcGIS for processing and further analysis of satellite imagery of the area. To solve the task of predicting the change in the forest park economy area over time, modelling linear regression is proposed using the built-in programming language in the ArcGIS. The developed application with an intuitive interface will provide an opportunity to conveniently work with databases and attribute information, graphics and images. The development includes five options for performing calculations, which allows analysing the results in each of the anticipated scenarios. All calculations were performed on the example of the Kharkiv Forest Park "Sokolniki-Pomirki". An algorithm for processing and analysing satellite images was developed. The proposed algorithm can be applied to increase the speed of monitoring of the state of forests and predicting changes not only in Kharkiv, but also in other cities in Ukraine and worldwide. The paper demonstrates the capabilities of GIS for monitoring

of green areas, which allow performing similar work with minimal time costs. Thus, the GIS product is promising at the current stage of observing changes in the areas of green plantings.

**Keywords:** remote sensing of the Earth; geoinformation system; satellite; space image; programming language; interface.

### Список літератури

1. Поморцева О.Є., Кобзан С.М. Моніторинг лісопаркового господарства. Проблеми використання супутникових знімків для аналізу. Scientific community: interdisciplinary research. *Proceedings of the VI International scientific and practical conference. Scientific collection "Interconf"*, 2022, no. 96, pp. 816–825.
2. URL: [https://gis-lab.info/qa/landsat\\_qgis\\_scp.html](https://gis-lab.info/qa/landsat_qgis_scp.html)
3. URL: [http://mapexpert.com.ua./index\\_ru.php?id=26&table=Menu](http://mapexpert.com.ua./index_ru.php?id=26&table=Menu)
4. Nowshin Nawar, Raihan Sorker, Farhat Jahan Chowdhury, Md. Mostafizur Rahman. Present status and historical changes of urban green space in Dhaka city, Bangladesh: A remote sensing driven approach. *Environmental Challenges*, 2022, vol. 6. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100425>
5. Ziwei Wang, Tao Chen, Dongyu Zhu, Kun Jia, Antonio Plaza. RSEIFE: A new remote sensing ecological index for simulating the land surface eco-environment. *Journal of Environmental Management*, 2023, vol. 326, part A. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116851
6. Iglseider A., Immitzer M., Dostálová A. et al. The potential of combining satellite and airborne remote sensing data for habitat classification and monitoring in forest landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2023, vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103131>
7. García-Pardo K.A., Moreno-Rangel D., Domínguez-Amarillo S., García-Chávez J.R. Remote sensing for the assessment of ecosystem services provided by urban vegetation: A review of the methods applied. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, vol. 74. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127636>
8. Поморцева О.Є., Затхей В.А. Модель моніторингу зміни площ ландшафтів. Modern scientific trends and standards. *Proceedings of the II International scientific and practical conference. Scientific collection "Interconf"*, 2022, no. 98, pp. 462–471.
9. Pomortseva O., Kobzan S., Yevdokimov A., Kukhar M. Use of geoinformation systems in environmental monitoring. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020)*, 2020, vol. 166 (01002). doi:10.1051/e3sconf/202016601002
10. Pomortseva O., Kobzan S., Voronkov O., Yevdokimov A. Geospatial modeling of the infrastructure facility optimal location. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 280(12):11013. doi:10.1051/e3sconf/202128011013

### References

1. Pomortseva O., Kobzan S. Monitorynh lisoparkovoho gospodarstva. Problemy vykorystannia suputnykovykh znimkiv dlia analizu [Monitoring of forest management. Problems of using satellite images for analysis]. Scientific community: interdisciplinary research. *Proceedings of the VI International scientific and practical conference. Scientific collection "Interconf"*, 2022, no. 96, pp. 816–825 (in Ukrainian).
2. Available at: [https://gis-lab.info/qa/landsat\\_qgis\\_scp.html](https://gis-lab.info/qa/landsat_qgis_scp.html)
3. Available at: [http://mapexpert.com.ua./index\\_ru.php?id=26&table=Menu](http://mapexpert.com.ua./index_ru.php?id=26&table=Menu)
4. Nowshin Nawar, Raihan Sorker, Farhat Jahan Chowdhury, Md. Mostafizur Rahman. Present status and historical changes of urban green space in Dhaka city, Bangladesh: A remote sensing driven approach. *Environmental Challenges*, 2022, vol. 6. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100425>
5. Ziwei Wang, Tao Chen, Dongyu Zhu, Kun Jia, Antonio Plaza. RSEIFE: A new remote sensing ecological index for simulating the land surface eco-environment. *Journal of Environmental Management*, 2023, vol. 326, part A. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116851
6. Iglseider A., Immitzer M., Dostálová A. et al. The potential of combining satellite and airborne remote sensing data for habitat classification and monitoring in forest landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2023, vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103131>
7. García-Pardo K.A., Moreno-Rangel D., Domínguez-Amarillo S., García-Chávez J.R. Remote sensing for the assessment of ecosystem services provided by urban vegetation: A review of the methods applied. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, vol. 74. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127636>
8. Pomortseva O., Zathay V. Model monitorynhu zminy plosch landshaftiv [Model for monitoring changes in landscape areas]. Modern scientific trends and standards. *Proceedings of the II International scientific and practical conference. Scientific collection "Interconf"*, 2022, no. 98, pp. 462–471 (in Ukrainian).
9. Pomortseva O., Kobzan S., Yevdokimov A., Kukhar M. Use of geoinformation systems in environmental monitoring. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020)*, 2020, vol. 166 (01002). doi:10.1051/e3sconf/202016601002
10. Pomortseva O., Kobzan S., Voronkov O., Yevdokimov A. Geospatial modeling of the infrastructure facility optimal location. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 280(12):11013. doi:10.1051/e3sconf/202128011013