

**В. А. ТОЛСТОХАТЬКО**, канд. техн. наук, проф., ХНАМГ, Харків;  
**О. Є. ПОМОРЦЕВА**, канд. техн. наук, доц., ХНАМГ, Харків;  
**Н. П. ТАРНОПІЛЬСКА**, пошукач кафедри, ХНАМГ, Харків

## **ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЛІСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ І ЗАСОБІВ ГІС**

Запропонована методика аналізу динаміки розвитку лісів по знімках, які отримані при дистанційному зондуванні Землі з різних супутників і в різні періоди часу.

**Ключові слова:** космічні знімки, супутник, дистанційне зондування, ліс.

**Вступ.** Вирішення практично всіх актуальних проблем лісового сектора (охорона заповідних лісів, боротьба з незаконними вирубками лісу) вимагає об'єктивної інформації щодо лісів. Дані лісовпорядкування вимагають свого регулярного відновлення. Космічна зйомка є самим доступним і затребуваним типом інформації. Адже космічні знімки об'єктивно відображають стан місцевості на момент зйомки, вони актуальні, оскільки матеріали космічної зйомки можна одержати на різні дати з різною роздільною здатністю [1]. Сучасна зйомка в оглядових масштабах дозволяє одночасно зняти величезні території з досить високою деталізацією. Так, розмір одного кадру супутника Landsat 5 становить 740x740 км, а роздільна здатність зйомки – 30 м, що дозволяє визначити місця рубок розміром більше 5–10 га. У статті пропонуються методи обробки космічних знімків і прогнозування стану лісу.

**Постановка задачі.** Завдання по вдосконалюванню лісовпорядкування повинні полягати в проведенні лісоінвентаризаційних робіт з використанням матеріалів космічної зйомки та застосуванням ГІС-технологій [1, 2], що дозволяє оперативно та з достатньою точністю одержувати інформацію про наявність і стан лісових ресурсів. Вартість таких робіт не повинна бути високою.

*Об'єктом дослідження* є процес обробки космічних зображень засобами ГІС-технологій.

*Предметом дослідження* є методи дешифрування космічних знімків та прогнозування розвитку лісових господарств.

*Мета* – аналіз методів і засобів програмного комплексу ERDAS IMAGINE 2010, які використовуються для вирішення завдань лісового господарства.

*Метод дослідження* – цифрова обробка космічних знімків різної роздільної здатності для моніторингу стану лісного господарства.

Для досліджень використовуються знімки Харківського лісопарку, які отримані з супутників Landsat – 5 (1988 р.), ETM+ Landsat –7 (2002 р.), SPOT 5 (2006 р.) і IKONOS (2010 р.). Вибір цих знімків обумовлений тим, що результати досліджень динаміки зміни площі лісного масиву, які отримані на кафедрі ГІС, оціки землі та нерухомості за допомогою алгоритму ISODATA [2], передбачається використати для порівняльного аналізу з результатами, що отримані з використанням інших методів дешифрування знімків (методів автономної та контрольованої класифікації).

*Завдання дослідження:*

- Розробити методику класифікації мультиспектральних космічних знімків з використанням методів автономної та контрольованої класифікації для отримання інформації щодо вкритих лісом територій.
- Розробити регресійну модель і програму для прогнозування динаміки зміни

площі лісу протягом часу.

**Методика класифікації космічних знімків з використанням методів автономної та контрольованої класифікації.** Пропонується гібридний спосіб класифікації знімків за два етапи. На першому етапі виконується автономна класифікація з використанням алгоритму ISODATA [1]. Отримані знімки використовуються в якості початкових даних для виконання контрольованої класифікації. На основі отриманих класів створюються навчальні вибірки, звані також еталонами об'єктів або сигнатурами.

Навчальні вибірки – набори пікселів, які представляють розпізнаваний образ (клас) і служать його ідентифікації. Звичайно це ділянка на знімку, ідентифікована на основі дійсних даних про земну поверхню.

На основі навчальної вибірки будується сигнатура. Сигнатура – об'єкт, коротко і що однозначно описує навчальну вибірку. В ERDAS IMAGINE є спеціальний редактор Signature Editor, який дозволяє через сигнатури редагувати, об'єднувати і видаляти зразки, отримуючи в результаті остаточний набір навчальних вибірок.

В якості прикладу здійснена гібридна класифікація знімків з використанням алгоритмів ISODATA і мінімальної спектральної відстані (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристики областей лісу

Роки	Алгоритм ISODATA, $S_{ID}$ , га	Алгоритм мінімальної відстані, $S_{MB}$ , га	$\Delta S$ , %
1992	1779,42	1768,15	0,63%
1996	1779,62	1762,74	0,95%
2001	1758,23	1750,11	0,46%
2004	1761,17	1745,92	0,87%
2006	1747,61	1742,15	0,31%
2010	1749,67	1737,43	0,70%
Загальна площа лісу на 1.11.1987 р: $S = 2093$ , га			

Аналіз отриманих результатів показує, що використання гібридної класифікації незначно уточнює дані, що отримані за алгоритмом IDODATA.

Таким чином, для вирішення завдань лісового господарювання достатньо використовувати тільки алгоритм IDODATA.

**Математична модель парної лінійної регресії [1].** Практика показує, що площа лісу стохастично залежить від часу. У роботі в якості статистичного показника  $Y$  розглядатимемо площу лісу (га), а в якості фактора  $X$  – час (рік). Для аналізу і прогнозування зміни площі лісу з часом використаємо парну лінійну регресію:

$$\hat{Y} = aX + b. \quad (1)$$

Залежність (1) характеризує тенденцію зміни показника  $Y$ , зумовлену впливом зміни фактора  $X$ . Зв'язок між показником і фактором має вигляд:

$$\hat{y} = ax_i + b, \quad (2)$$

де  $a, b$  – оцінки параметрів лінійної регресії (коефіцієнти регресії);

$\hat{y}_i$  – оцінка показника в точці  $x_i$ ,  $i = 1 \dots n$ ;

$n$  – число вимірів (для нашої задачі  $n = 6$ ).

Задачі лінійного регресійного аналізу полягають у тому, щоб за наявними статистичними даними  $(x_i, y_i)$  для змінних  $X$  і  $Y$ :

- отримати якнайкращі оцінки параметрів  $a, b$  регресії;
- перевірити адекватність моделі даним спостережень;

- виконати прогноз зміни показника (площі лісу) на певний період часу.

Для оцінки параметрів  $a$  і  $b$  лінії регресії використовується метод найменших квадратів, завдяки якому мінімізуються відхилення спостережуваних даних показника від згладжуваних значень. Значення коефіцієнтів  $a$  і  $b$  обчислюються за формулами:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \quad b = \frac{\sum y_i}{n} - a \frac{\sum x_i}{n} = \bar{y} - a\bar{x}, \quad (3)$$

де  $\sum x_i, \sum y_i$  – скорочене позначення сум  $\sum_{i=1}^n x_i, \sum_{i=1}^n y_i$ , (4)

$\bar{x}, \bar{y}$  – середні значення фактору  $X$  і показника  $Y$ .

*Перевірка якості рівняння регресії.* Для визначення ступеня щільності зв'язку лінійної залежності між випадковими величинами ( $X, Y$ ) використовується коефіцієнт кореляції  $r(X, Y)$ , який розраховується за формулою:

$$r(X, Y) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (5)$$

Коефіцієнт кореляції змінюється в межах від -1 до 1. Якщо  $r(X, Y) > 0$ , то між випадковими величинами  $X$  і  $Y$  існує пряма залежність, а при  $r(X, Y) < 0$  – зворотна залежність. Чим більше значення коефіцієнту кореляції наближаються до одиниці, тим вище ступень щільності зв'язку.

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

$$R = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}. \quad (6)$$

Індекс кореляції змінюється в межах від 0 до 1. Чим більше спостережувані значення наближаються до лінії регресії, тим ближче значення  $R$  до одиниці. Якщо всі  $\hat{y}_i = \bar{y}$ , то зміни  $Y$  не пов'язані із змінами  $X$  і  $R = 0$ .

*Оцінка адекватності парної лінійної регресії.* Для оцінки адекватності парної лінійної регресії спостережуваним даним використаємо критерій Фішера ( $F$ ). Критерій Фішера показує, в скільки разів рівняння регресії визначає результати досліду краще, ніж середнє значення.

Алгоритм перевірки адекватності вибраної моделі педбачає наступні дії:

1. Обчислення значення Фішера ( $F$ ) за формулами:

$$F = S_y^2 / S_{y_{ocm}}^2, \quad S_y^2 = \sum (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1), \quad S_{y_{ocm}}^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - k), \quad (7)$$

де  $S_y^2$  – незміщена оцінка загальної дисперсії;  $S_{y_{ocm}}^2$  – залишкова дисперсія (сума квадратів залишків), яка характеризує розсіяння експериментальних точок відносно рівняння регресії;  $(n - 1)$  – число мір свободи при визначенні дисперсії  $S_y^2$ ;  $k$  – число оцінюваних коефіцієнтів регресії.

2. Визначення табличного значення розподілу Фішера  $F_T = F(\alpha, k_1, k_2)$  для заданої надійної імовірності  $P$  (або рівня значущості  $\alpha = 1 - P$ ) і числа мір свободи  $k_1 = m, k_2 = n - m - 1$ , де  $m$  – число факторів регресії,  $n$  – число дослідів. У нашому прикладі  $m = 1, n = 6, k_1 = 1, k_2 = 4$ . Для надійної імовірності  $P = 0,95$  і числа ступенів вільності  $k_1, k_2$  табличне значення  $F_T = 7,71$  [6].

3. Перевірка умови  $F > F_T$ . Якщо  $F > F_T$ , то з ймовірністю  $P$  математична модель парної лінійної регресії адекватна експериментальним даним, інакше – не вважається

за адекватну.

*Надійні межі парної лінійної регресії.* Надійні межі базисних середніх значень регресії визначаються за формулами:

$$Y_{\min i} = \hat{y}_i - \Delta \hat{y}_i, Y_{\max i} = \hat{y}_i + \Delta \hat{y}_i, \quad i = 1..n, \quad (8)$$

$$\text{де } \Delta \hat{y}_i = t(\alpha, k) \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{D(x)}}, \quad (9)$$

$t(\alpha, k)$  – табличне значення  $t$ -розподілу Стьюдента;

$S = \sqrt{(y_i - \hat{y}_i)^2 / n - 2}$  – незсувна статистична оцінка середнього квадратичного відхилення;  $D(x) = \sum (x_i - \bar{x})^2 / n$  – дисперсія фактору  $x$ .

Якнайкращі результати із заданою надійністю слід чекати в околі точки  $(\bar{x}, \bar{y})$ . Надійна зона збільшується при віддаленні  $X$  від значення  $\bar{x}$ .

*Прогноз та його надійні інтервали.* Прогнозуванням називається наукове передбачення ймовірнісних шляхів розвитку явищ і процесів для більш менш віддаленого майбутнього. Періодом попередження називається проміжок часу від моменту, для якого є останні статистичні дані про досліджуваний об'єкт, до моменту прогнозу.

Середнє значення прогнозу показника  $\hat{y}_p$  при значенні фактору  $x_p$  відповідно до лінійної регресії визначається за формулою:

$$\hat{y}_p = ax_p + b. \quad (10)$$

Межі надійних інтервалів індивідуальних прогнозних значень визначаються формулою  $\hat{y}_{pi} \pm \Delta \hat{y}_{pi}$ ,

$$\text{де } \Delta \hat{y}_{pi} = t(\alpha, k) S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_{pi} - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}. \quad (11)$$

**Проведення досліджень.** Для проведення досліджень розроблено програму моделювання парної лінійної регресії на мові програмування VBA. Оскільки в склад програмного продукту ERDAS IMAGINE не включено мову програмування VBA, то моделювання лінійної регресії будемо виконувати в середовищі ArcGIS 9.3. Для цього конвертуємо шари класифікованих знімків в ArcGIS 9.3. Початкові дані будемо використовувати з атрибутивних таблиць відповідних шарів.

*Дослідження парної лінійної регресії.* Для відображення початкових даних і результатів обчислень створено графічний інтерфейс програми (рис.1). Початкові дані та результати подаються в наочній формі (рис. 1): текст, графіки діаграми, що значно спрощує процес аналізу результатів.

Моделювання виконується на інтервалі часу від 1992 р. до 2010 р. при натисканні кнопки *Модель регресії*. Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

1. Коефіцієнт кореляції  $r = -0,9927$ , що свідчить про тісний лінійний зв'язок фактора і показника. Знак мінус означає, що зміж показником і фактором існує зворотня 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  $x$  (рис. 4).

3. Оскільки  $F_p > F_T$ , то з надійністю  $P = 0,95$  можна вважати модель регресії

$y = -1,7992x + 5352,14$   
 адекватною експериментальним даним. На підставі прийнятої моделі можна проводити аналіз стану лісу з часом. Програма вивела текст “Модель адекватна даним”, оскільки виконується умова  $F_p > F_T$ .

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

Таким чином, за період з 1992 по 2010 роки площа лісу Харківського лісопарку зменшилася на 1,7%.

*Прогноз стану лісу на 2013 рік.* Виконаємо прогноз стану лісопарку на декілька років, наприклад, обчислимо прогнозоване значення площі лісу на 2013 рік. Обчислення виконується при натисканні кнопки *Надійний інтервал*. Результати виконання програми приведені на рис. 2.

Аналіз отриманих результатів показує, що для значення фактора  $x_p = 2013$  середнє значення прогнозу показника  $\hat{y}_p = 1730$  га з надійністю  $P = 0,95$  буде знаходитися в межах від 1725 до 1736 га.

Таким чином, прогнозоване значення площі лісу на 2013 рік 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 2001 рік. Надійна зона збільшується при віддаленні  $X$  від значення  $\bar{x}$  (рис. 2).

### Висновки

1. При високій якості знімків метод кластеризації ISODATA дозволяє по спектральній яскравості достатньо точно виділяти області лісу і антропологічні об'єкти в ній (будови, дороги й і ін.). Завдяки цьому не потрібно додатково використовувати для уточнення алгоритми контрольованої класифікації.

2. Цифрові методи обробки багатозональних космічних зображень дозволяють підвищити оперативність моніторингу стану лісів, а також виявити динаміку і

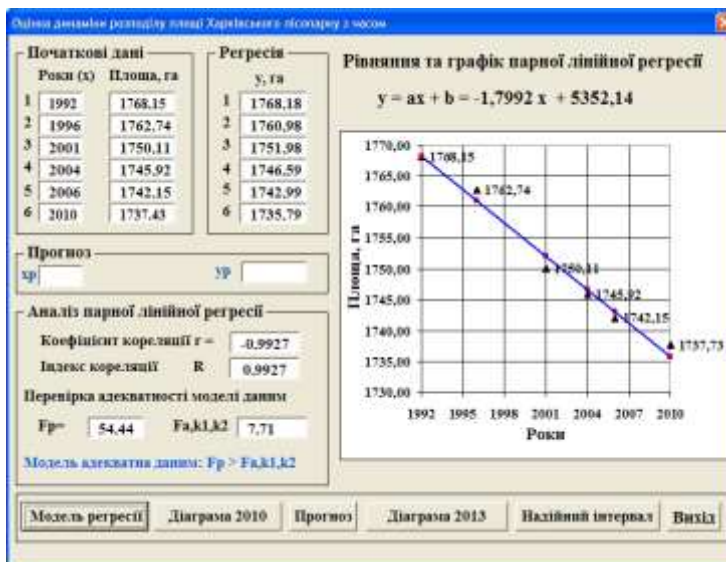


Рис. 1 – Вигляд вікна при натисканні кнопки *Модель регресії*



Рис. 2 – Вигляд вікна при натисканні кнопки *Прогноз*

спрямованість розвитку процесу скорочення їх площ. Причинами цього є рубки лісу різних типів – суцільних і вибіркових, під будівництво й інфраструктуру, пожежі й шн.

3. Використання космічних знімків дозволяє швидко і ефективно контролювати види вирубок (вибіркові, планові, суцільні), площі вирубок і розміщення лісовозних доріг. Крім того, за допомогою ГІС по космічних знімках можна виявити незаконні рубки лісу, зокрема в межах водозахисних зон і об'єктів природно-заповідного фонду.

**Список літератури:** 1. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений [Текст] / – М.: Техносфера, 2010. – 516 с. 2. Шумаков Ф. Т. Возможности использования космических снимков для решения задач мониторинга лесов. / Ф. Т. Шумаков, В. А. Толстохатко, Н. П. Тарнопільська. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2 / 11 (56) 2012. – с. 25-29. 3. Толбатов Ю. А. Економетрика [Текст] / Підручник – К.: Четверта хвиля, 1997. – 320 с.

*Надійшла до редколегії 10.05.2013*

УДК 528:061.3

**Прогнозування стану лісів з використанням космічних знімків і засобів ГІС / В. А. Толстохатко, О. Є. Поморцева, Н. П. Тарнопільська // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. – № 26 (999). – С.175-180. – Бібліогр.: 3 назв.**

Предложена методика анализа динамики развития лесов по снимкам, которые получены при дистанционном зондировании Земли с различных спутников и в разные периоды времени.

**Ключевые слова:** космические снимки, спутник, дистанционное зондирование, лес.

The method of analysis of dynamics of development of the forests is offered on pictures which are got at the remote sensing of Earth from different sputnik and in different periods of time.

**Keywords:** space pictures, sputnik, remote sensing, forest.

УДК. 669.054.8'71

**О. М. ГРИНЬ**, студент, ЗДІА, Запоріжжя;

**В. М. БРЕДИХІН**, канд. техн. наук, доц., проф., ДонНТУ, Донецьк;

**І. Ф. ЧЕРВОНИЙ**, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ЗДІА, Запоріжжя;

**М. О. МАНЯК**, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ДонНТУ, Донецьк

### **РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ АЛЮМІНІЮ З ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ**

Виконано аналіз переробки лому і відходів виробництва й споживання алюмінію. Розглянуто альтернативні методи переробки, такі як плавка у відбивних печах, а також плавлення у розплавах лужних і лужно-земельних солей. Плавка в відбивних печах ведеться при атмосферному тиску. Нагрів, розплавлення, перегрів супроводжуються супутніми металургійними процесами: окисленням алюмінію і легуючих елементів, газонасиченням розплавів, розчиненням, випаровуванням компонентів, взаємодією рідкого металу з флюсами і футеровкой печі. Деякі перераховані процеси необхідні і корисні, інші – небажані, негативно впливають на якість отримуваних сплавів. Відносно новим процесом переробки алюмінієвого лому є плавка в розплавах хлоридів лужних металів. Розплавлені хлориди лужних металів є широко поширеними сольовими середовищами для проведення високотемпературних фізико-хімічних і електрохімічних процесів. Розплави хлоридів знаходять усе більше застосування для отримання і рафінування металів, нанесення покриттів гальванічним способом, очищення промислових газів від шкідливих домішок, а також як електроліти у високотемпературних хімічних джерелах струму і середовища для проведення неорганічних і органічних реакцій.

**Ключові слова:** алюміній, лом, відходи, плавка, відбивна піч, розплав хлоридів.

**Вступ.** Кольорові метали використовуються в різних галузях промисловості. При цьому потреби цих галузей все частіше задовольняються за рахунок переробки