

УДК 528.9:911.01

## ДИНАМІКА ЛІСИСТОСТІ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ПРОТЯГОМ 1988–2007 РОКІВ: ГЕОЕКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАСОБАМИ ГЕОМАТИКИ

І. Круглов<sup>1</sup>, Т. Кюммерле<sup>2</sup>, О. Часковський<sup>3</sup>, Я. Кнорн<sup>2</sup>,  
Ф. Раделофф<sup>4</sup>, П. Гостерт<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна

<sup>2</sup>Берлінський університет імені Гумбольдтів, Німеччина

<sup>3</sup>Національний лісотехнічний університет України, Україна

<sup>4</sup>Університет Вісконсін-Медісон, США

Класифіковано космозображення Landsat TM/ETM+, які охоплюють усі Українські Карпати за чотирма часовими зрізами (1988–1989, 1994, 2000–2002 і 2006–2007 роки) методом опорних векторів. За оверлейним аналізом з'ясовано динаміку лісового покриву для регіону в цілому, 33 індивідуальних мезоекорегіонів та їхніх семи орографічних класів, а також для 14 найбільших річкових басейнів.

*Ключові слова:* Українські Карпати, динаміка лісистості, дистанційне зондування, екорегіони, річкові басейни.

Лісистість території, тобто частка її площі, зайнята лісовою рослинністю, є важливим екологічним показником, який характеризує стан та особливості природокористування [12]. З огляду на це, лісистість в Україні визначена як пріоритетний показник екологічного стану та лісогосподарського освоєння території, який планують підвищити [3]. Для цього вже визначені бажані показники лісистості у розрізі адміністративних областей [2]. Однак наявні методи розрахунку оптимальної лісистості, розроблені у 70-х роках ХХ ст., сьогодні потребують перегляду, зокрема, у зв'язку із появою ефективних цифрових технологій дослідження довкілля [17]. Також одним з важливих питань є наявність та достовірність інформації про актуальну лісистість екорегіонів (природно-ландшафтних регіонів) та річкових басейнів України – адже саме ці природно-географічні утворення є основними територіальними одиницями екологічного менеджменту [19, 25].

Питання актуальної лісистості Українських Карпат (УК) є важливим, оскільки ця територія є центральною ланкою великого Карпатського екорегіону, який визнаний спеціальною міжнародною угодою – Карпатською конвенцією – “...унікальним природним скарбом визначної краси та екологічної цінності, важливим центром біорізноманіття, головним водозбором великих річок, необхідним середовищем існування та притулком для багатьох видів рослин і тварин, які знаходяться під загрозою зникнення, та найбільшою у Євро-

пі територією з незайманими лісами...” [33]. У вітчизняних публікаціях неодноразово наводили показники лісистості УК, які дещо відрізняються між собою: 55,4 % [13], 53,5 % [16], 51,0 % [1], 60,9 % [6], 59,0 % [14]. Наголошено, що такі показники лісистості наведені у зазначених наукових публікаціях без належного опису даних та методів, за допомогою яких вони були розраховані, і це викликає певні сумніви щодо їхньої достовірності. Незважаючи на це, вони стали недостатньою підставою для визнання лісистості УК, (зокрема, з погляду регулювання стоку гірських рік) та для висунення пропозицій щодо її збільшення хоча б до 65 % [1, 4, 5, 16]. Важливим є дослідження А. Мельника, який розрахував лісистість УК на рівні окремих ландшафтних районів та вищих ієрархічних одиниць на підставі лісовпорядних та топографічних карт, а також космозображень. За його даними, показник сумарної лісистості УК (гірська частина) становить 76 % [11], що контрастує з іншими, наведеними вище даними.

Нещодавно з'явилися міжнародні публікації щодо актуального наземного покриття УК і його новітньої (тобто протягом приблизно двох останніх десятиліть) динаміки, які ґрунтуються на автоматизованому аналізі різночасових космозображень Landsat TM/ETM+ [20, 29–32]. Зокрема, подано нову, науково обґрунтовану та порівняно точну інформацію про динаміку лісового покриття протягом 1988–2007 рр. у розрізі адміністративних районів та областей, розташованих на території Карпатського екорегіону. Проаналізовано зміни у лісовому покритті, спричинені здебільшого суцільними вирубками, за інтервалами абсолютних висот та ухилів поверхні, а також за видимістю з основних автошляхів. Крім того, ці дані порівняли з офіційними статистичними звітами та інвентаризаційними картами, що дало змогу виявити значні розбіжності та дало підстави стверджувати про поширеність незаконних рубок лісу в УК [29].

Однак нез'ясованими залишаються показники динаміки лісистості для окремих екорегіонів та річкових басейнів УК, які є важливими територіальними одиницями екологічного та гідрологічного моніторингу і менеджменту. Тому ця публікація ґрунтується на додатковому аналізі засобами географічних інформаційних систем цифрових дистанційних даних щодо лісового покриття УК та його новітньої динаміки [29] у розрізі геоекологічних одиниць – екорегіонів та річкових басейнів.

Дані про лісовий покрив та його новітню динаміку отримали шляхом цифрового опрацювання 19-літніх та ранньоосінніх спектрзональних космозображень Landsat TM та ETM+ – у кожному по три видимі та три інфрачервоні канали з розділенням 30 м та територіальним обсягом 185 × 185 км (<http://landsat.usgs.gov>). Космозображення дещо перекриваються територіально та охоплюють усі УК у чотирьох часових зрізах: 1988–1989, 1994, 2000–2002 і 2006–2007 років. Усі зображення геоприв'язали та орторектифікували за допомогою цифрової моделі висот (ЦМВ) SRTM [26] з точністю < 0,5 пікселя (15 м). На деяких знімках були захмарені ділянки, які довелося вилучити з аналізу. Космозображення автоматизовано класифікували за двома категоріями – “ліс” і “неліс” – за допомогою спеціального програмного забезпечення

“ImageSVM” (<http://www.hu-geomatics.de>), яке використовує алгоритм на підставі методу опорних векторів (support vector machines – SVM) [21, 23].

Для навчання алгоритму та оцінки достовірності результатів класифікації використали 5 211 випадкових пунктів наземного контролю даних, отриманих, головню, шляхом візуальної інтерпретації високороздільних космозображень Quickbird за 2002–2007 рр., які наявні на Інтернет-ресурсі Google Earth (<http://earth.google.com>). Крім того, частина пунктів (730) зібрано під час польових досліджень 2004 та 2006 років. Пункт вважали лісом, коли в околиці 30×30 м (розмір пікселя космозображення Landsat TM та ETM+) проєктивне покриття крон дерев або чагарників перевищувало 60 %. До уваги брали лише ті пункти, які за даними космозображень Landsat TM та ETM+, протягом 1988–2007 рр. не змінювали належності до класів “ліс” або “неліс”, не потрапляли на захмарені ділянки та були розташовані на відстані більшій, ніж 15 м від узлісся. Для навчання алгоритму використали 90 % пунктів наземного контролю, а для оцінки достовірності, відповідно, 10 %. На підставі останніх розрахували матрицю помилок, загальну точність, точність виробника та користувача, а також каппа-статистику [наприклад, 23]. На кінцевому етапі класифікації для навчання використали усі 100 % пунктів наземного контролю.

Класифіковані космозображення для кожного з часових зрізів об’єднали у суцільні растрові геопросторові шари (ГПШ) так, щоб у зонах їхнього просторового перекривання пріоритет отримали геодані вищої точності та без хмар. Після цього виконали оверлей чотирьох ГПШ, які репрезентують часові зрізи і створили карту динаміки лісового покриву протягом 1988–2007 рр. Ділянки, які на усіх чотирьох ГПШ були класифіковані як “ліс” або “неліс”, визначили як, відповідно, стабільно залісені та стабільно безлісі. Ділянки, на яких простежувалася зміна класів, позначили залежно від черговості та часу змін: як з порушеннями за певний період лісового покриву, так і наново залісені. Додатково взяли до уваги факт, що відновлення лісу або чагарникового покриву на порушених ділянках повинно тривати понад шість років – тобто більше, ніж період між двома часовими зрізами. З огляду на це, ті комірки растрового ГПШ динаміки лісового покриву, які реєстрували часту зміну класів “ліс” – “неліс” позначили як помилкові (табл. 1). Наприкінці елімінували, шляхом пропорційного розділення поміж “сусідами”, ареали, які мали площу, меншу за 0,5 га (менше, ніж шість комірок растру). Унаслідок цього вдалося позбутися більшості комірок з помилками класифікації. Детальніший опис методики опрацювання космозображень наведений у публікації [29].

Векторний ГПШ морфогенних мезоекореґіонів УК створили шляхом мануальної інтерпретації ЦМБ SRTM [26] з використанням додаткової інформації з геологічних карт, а також зі схем ландшафтознавчої та геоморфологічної регіоналізації. Такі екорегіони загалом відповідають природно-ландшафтним районам попередніх регіоналізацій Українських Карпат [11] й охоплюють лише гірську місцевість. За допомогою функції зональної статистики для кожного з індивідуальних мезоекореґіонів розрахували середні абсолютні та відносні (у радіусі 1 000 м) висоти. Тоді за допомогою кластерного аналізу цих статистич-

них показників виконали орографічну класифікацію екорегіонів. Детальніший опис методики створення та аналізу ГПШ екорегіонів УК наведено у публікації [9]. У цьому дослідженні динаміку лісистості УК проаналізували як за індивідуальними мезоекорегіонами, так і за їхніми орографічними класами.

Таблиця 1

Типи динаміки лісового покриву, визначені на підставі класифікації космозображень за чотирма часовими зрізами [29]

Типи динаміки лісового покриву	Класи наземного покриву за часовими зрізами			
	1988–1989	1994	2000–2002	2006–2007
1. Стабільний лісовий покрив	ліс	ліс	ліс	ліс
2. Порушення лісового покриву до 1988 р.	неліс	ліс	ліс	ліс
3. Порушення лісового покриву протягом 1988–1994 рр.	ліс	неліс	ліс	ліс
	ліс	неліс	неліс	ліс
	ліс	неліс	неліс	неліс
4. Порушення лісового покриву протягом 1994–2000 рр.	ліс	ліс	неліс	ліс
	ліс	ліс	неліс	неліс
5. Порушення лісового покриву протягом 2000–2007 рр.	ліс	ліс	ліс	неліс
	неліс	ліс	ліс	неліс
6. Заліснення після 1994 р.	неліс	неліс	ліс	ліс
7. Заліснення після 2000 р.	неліс	неліс	неліс	ліс
8. Стабільно безлісі території	неліс	неліс	неліс	неліс
9. Помилки класифікації	неліс	ліс	неліс	ліс
	ліс	неліс	ліс	неліс
	неліс	неліс	ліс	неліс
	неліс	ліс	неліс	неліс

Растровий ГПШ водозбірних басейнів головних річок УК отримали шляхом їхнього автоматизованого виділення [22] на підставі ЦМБ SRTM [26] для створів гідропостів Державної гідрометеорологічної служби, розташованих нижче за течією на рівнинах. Це дало змогу повністю охопити гірські частини водозборів основних рік та їхніх дрібніших допливів, які зливаються з головними ріками уже поза межами гір. Після цього ГПШ річкових басейнів, отриманий унаслідок гідрологічного моделювання, “обрізали” по межі Українських Карпат, тобто вилучили рівнинні ділянки водозборів. Для кожної з гірських частин басейнів розраховували середні відносні та абсолютні висоти, як для морфогенних мезоекорегіонів.

Оверлей гео-даних щодо динаміки лісового покриву протягом 1988–2007 рр. з ГПШ мезоекорегіонів та річкових басейнів дав змогу отримати дані

щодо динаміки лісистості у розрізі, відповідно, УК загалом, індивідуальних мезоекорегіонів та їхніх орографічних класів, а також для найбільших річкових басейнів. Для відповідних територіальних одиниць спочатку розраховували площі за типами динаміки лісового покриву в абсолютних величинах (га), а тоді визначили їхні частки (у відсотках).

Растровий ГПШ динаміки лісового покриву УК має геометричне розділення  $30 \times 30$  м та охоплює усю площу Карпатського екорегіону у межах України. Загальна точність класифікації індивідуальних космозображень коливається від 95 до 99 %. При цьому зміни у лісовому покриві для часових інтервалів 1988–1994, 1994–2000 та 2000–2007 років визначені з точністю понад 87 %, а для періоду до 1988 р. – з точністю 83 % [29]. Площа регіону дослідження (всі УК) становить 21 022 км<sup>2</sup>, а ділянки, для яких не вдалося визначити динаміку лісового покриву (захмарені або помилково класифіковані), займають 34 439 га – 1,6 % всієї площі.

Для території УК загалом вдалося з'ясувати, що за весь період спостережень (1988–2007 рр.) стабільний лісовий покрив зберігався на 59,5 % площі, а ще на 7,6 % площі він зазнавав порушень. Крім того, 0,8 % площі УК додатково вкрилися лісом, а 32,1 % площі залишалися стабільно без лісового покриву. Найбільше порушень лісового покриву простежувалось у період до 1988 р. – на 2,7 % площі регіону, а пізніше цей показник був у межах від 1,5 % (для періоду 1994–2000 рр.) до 1,7 % (для періодів 1988–1994 та 2000–2007 рр.). Прояви залісення раніше безлісних територій були незначними протягом 1994–2000 рр. (0,1 % площі), але значно зросли після 2000 р. – до 0,7 % площі регіону (рис. 1–3).

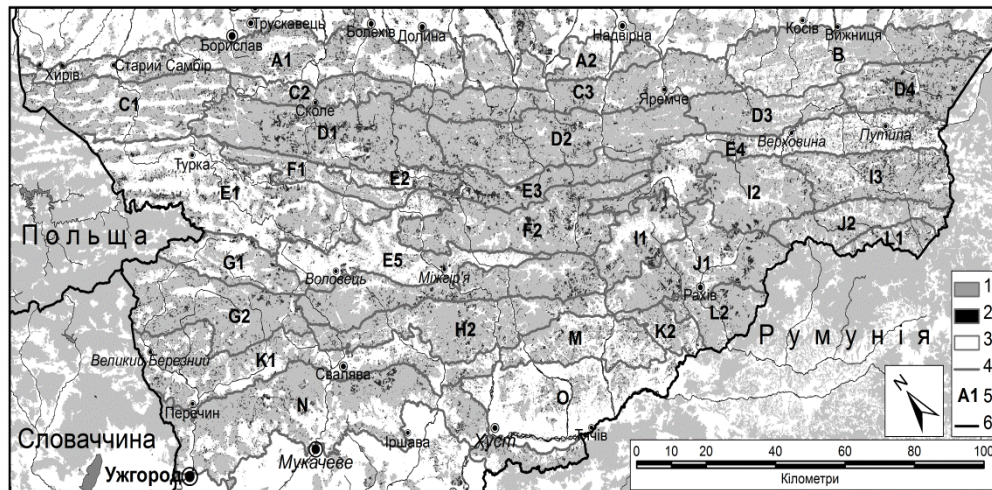


Рис. 1. Лісовий покрив Українських Карпат 1988–2007 рр. [9, 29]:

1 – стабільно залісені території; 2 – ділянки динаміки лісового покриву; 3 – стабільно безлісі території; 4 – межі мезоекорегіонів; 5 – індекси мезоекорегіонів; 6 – державні кордони

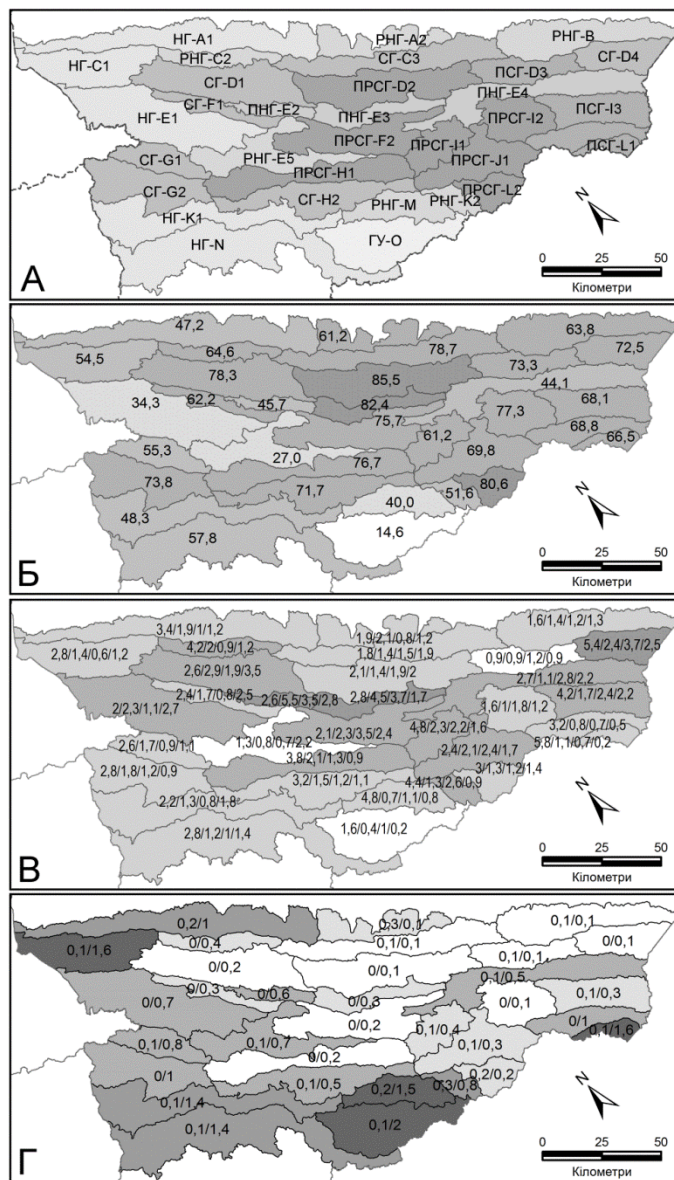


Рис. 2. Динаміка лісистості Українських Карпат за мезоєкорегіонами:

А. Орографічні класи мезоєкорегіонів: ГУ – горбогірні улоговини; НГ – низькогір'я; РНГ – розчленовані низькогір'я; ПНГ – підвищені низькогір'я; СГ – середньогір'я; ПСГ – підвищені середньогір'я; ПРСГ – підвищені розчленовані середньогір'я [9].

Б. Стабільна лісистість (%).

В. Частка порушеного лісового покриву (%) за часовими зрізами (роки): до 1988 / 1988–1994 / 1994–2000 / 2000–2007.

Г. Частка наново залісених територій (%) за часовими зрізами (роки): після 1994 / після 2000

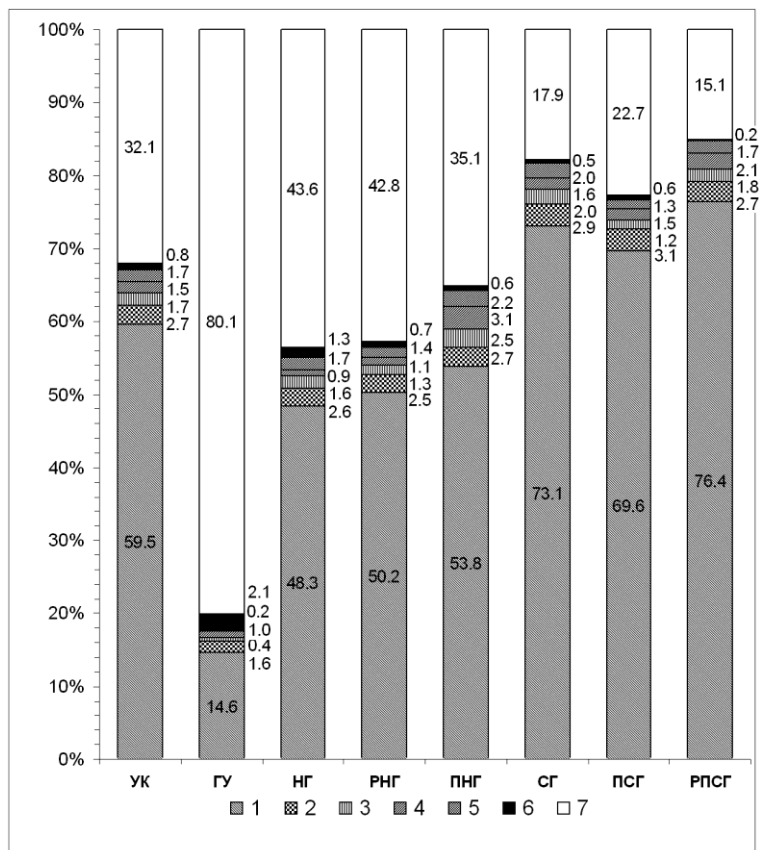


Рис. 3. Динаміка лісистості Українських Карпат за орографічними класами мезоекорегіонів (%):

УК – Українські Карпати в цілому; ГУ – горбогірні улоговини; НГ – низькогір'я; РНГ – розчленовані низькогір'я; ПНГ – підвищені низькогір'я; СГ – середньогір'я; ПСГ – підвищені середньогір'я; РПСГ – підвищені розчленовані середньогір'я [9].

1 – стабільна лісистість; 2 – частка порушень лісового покриву (ЧПЛП) до 1988 р.; 3 – ЧПЛП 1988–1994 рр.; 4 – ЧПЛП 1994–2000 рр.; 5 – ЧПЛП 2000–2007 рр.; 6 – частка наново залісених територій 1994–2007 рр.; 7 – стабільно безлісі території

Отже, показник сумарної лісистості УК виявилася вищим, ніж раніше заявлений у більшості вітчизняних публікаціях [наприклад, 1, 13, 16], але нижчим, ніж його визначив А. Мельник [11]. Крім того, лісистість УК значно вища, ніж лісистість Карпатського екорегіону загалом (48 %) [28], і протягом останнього часу доволі швидко зростає. Це явище можна пояснити заростанням покинутих сільськогосподарських земель, яке розпочалося після драматичного скорочення тваринництва та землеробства в 90-х роках ХХ ст. унаслідок розвалу комуністичної системи господарювання [20, 31]. Зафіксовані порушення лісового покриву спричинені головними та санітарними суцільними вирубками, а також меншою мірою вітровалами і буреломами, мінімальна площа яких пере-

вищувала 0,5 га. До зменшень порушень лісового покриву після 1988 р. призвели соціально-економічні чинники – рецесія економіки протягом 90-х років ХХ ст. Більші обсяги порушень лісового покриву у період 1988–1994 років, ніж у наступний період 1994–2000 років, ймовірно, спричинені катастрофічними вітровалами 1989–1990 років [18]. Викликає стурбованість порівняне зростання вирубок у період після 2000 р. – попри зростаючий громадський та законодавчий тиск на лісозаготівельників, особливо після катастрофічних паводків 1988 та 2001 років на Закарпатті [5]. Це явище частково можна пояснити збільшенням санітарних вирубок у смерекових деревостанах, які масово вищають протягом останнього десятиліття [7, 8].

Векторний ГПШ мезоекорегіонів УК, який має геометричну точність не нижчу, ніж у карти масштабу 1:100 000, містить 33 індивідуальні регіони, які згруповані у сім орографічних класів (рис. 3): горбогірні улоговини (ГУ), низькогір'я (Н), розчленовані низькогір'я (РН), підвищені низькогір'я (ПН), середньогір'я (С), підвищені середньогір'я (ПС) та розчленовані підвищені середньогір'я (РПС). Серед індивідуальних мезоекорегіонів найбільшу площу займає низькогірне Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо (N – 1 606 км<sup>2</sup>), а найменшу – підвищене середньогір'я Чивчинських кристалічних полонин (L1 – 140 км<sup>2</sup>, рис. 1 та 2). Найширше в УК репрезентовані низькогірні екорегіони – вони охоплюють 28,0 % площі. На другому та третьому місцях за поширенням є, відповідно, розчленовані підвищені середньогір'я (20,5 % площі) та середньогір'я (20,2 % площі) [9].

Найлісистішими є розчленовані підвищені середньогір'я, які відзначаються найбільшою кількістю опадів та найвищим ерозійним потенціалом рельєфу у поєднанні з порівняно низькою продуктивністю лісів, зумовленою обмеженим теплозабезпеченням. Стабільна лісистість у цьому класі екорегіонів становить 76,4 %, але значною є також площа порушеного лісового покриву – ще 8,3 %. Щоправда вона помітно зменшилася в останній період (2000–2007 рр.) – до 1,7 %. Площа лісу тут зросла лише на 0,2 % – головню завдяки заростанню полонини на межі смерекового та субальпійського поясів унаслідок значного зменшення випасання. Серед індивідуальних мезоекорегіонів найвищим показником стабільної лісистості характеризуються Центральні Горгани (D2) – 85,5 % (рис. 2).

Підвищені (порівняно малорозчленовані) середньогір'я мають дещо нижчу стабільну лісистість (69,6 %), але тут простежуються й менші обсяги порушень лісів (на 7,1 % площі) та швидші темпи заростання полонин (на 0,6 % площі). З урахуванням того, що частина площі підвищених середньогір'їв зайнята природними субальпійськими та альпійськими луками, можна вважати лісистість цих екорегіонів оптимальною (рис. 2, 3). При цьому все ж явно високими є обсяги порушень лісового покриву, зокрема, у Внутрішніх Горганах (F2), а також на Полонинах Свидовця (I1) і Гриняви (I3), де вони за період спостережень охопили понад 10 % площі екорегіонів. Здебільшого це суцільні вирубки у смерекових деревостанах.

Середньогірні (непідвищені) екорегіони також відзначаються високою стабільною лісистістю (73,1 %). Проте обсяги порушення лісу тут доволі зна-



чні – на 8,5 % площі. Додаткову стурбованість викликає той факт, що вони зросли в останній період (2000–2007). Найбільше порушень за весь період спостережень зафіксовано у Буковинських внутрішніх горах (D4) – на 14 % площі екорегіону. Зазначимо, що для періоду 2000–2007 рр. найбільші порушення виявлені у Центральних Бескидах (D1) – на 3,5 % площі. При цьому значні площі порушень зафіксовані у межах Національного природного парку “Сколівські Бескиди” – 943 га. Можна припустити, що таке зростання порушень лісового покриву у середньогірних екорегіонах пов’язане, принаймні частково, з інтенсифікацією санітарних вирубок у культурних смерекових деревостанах (Piceeta) букового висотного поясу, які масово всихають протягом останніх років через невідповідність екологічним умовам, підсилену глобальними кліматичними змінами [7, 8].

Підвищені низькогір’я мають помірну стабільну лісистість (53,8 %) та найбільші в УК обсяги порушень лісового покриву – на 10,5 % площі за весь період спостережень. Цікаво, що на відміну від усіх інших категорій екорегіонів максимум порушень припадає не на період до 1988 р. (2,7 %), а на інтервал 1994–2000 рр. (3,1 %). Можливо, така ситуація пов’язана з тим, що тут зосереджена значна частка природних та культурних смерекових лісів, які є головним об’єктом не лише суцільних вирубок, а й катастрофічних вітровалів і буреломів. Зокрема, у Горганський Верховині (E3) на території Національного природного парку “Синевир” взимку 1989–1990 рр. відбувся найбільший протягом періоду спостережень вітровал, який пошкодив 400 тис. м<sup>3</sup> деревини [10]. Однак можна очікувати, що несприятливі екологічні наслідки таких порушень (ерозія ґрунту та зростання стоку) тут не так сильно проявляються, як у середньогір’ях, через меншу потенційну енергію рельєфу.

Розчленовані низькогір’я характеризуються ще нижчою стабільною лісистістю – 50,2 %. При цьому частка площі порушеного лісу тут найменша серед гірських мезоекорегіонів – 6,3 %. Порівняно невеликі обсяги порушень лісового покриву тут можна пояснити переважанням букових деревостанів, які експлуатують з меншою інтенсивністю, ніж смерекові. Все ж в Апшицько-Косівському низькогір’ї (K2) та у Зовнішніх Бескидах (C2) зафіксовані досить значні площі порушень – відповідно, 9,3 та 8,3 %. Заростання вторинних луків у розчленованих низькогір’ях є також значним – за час спостережень додаткове залісення простежувалося на 0,7 % площі.

Низькогірні (нерозчленовні) екорегіони, які є найбільшим за площею орографічним класом в УК, мають стабільну лісистість на рівні 48,3 %, а порушення лісового покриву простежуються ще на 6,8 % від їхньої площі. Серед індивідуальних низькогірних мезоекорегіонів найнижчу стабільну лісистість (34,3 %) має Сянсько-Стрийсько Верховина (E1). Тут також відбуваються найбільші серед низькогір’їв обсяги порушень лісового покриву – на 8,1 % площі. При цьому найбільше порушень (на 2,7 % площі) зафіксовано протягом останнього періоду спостережень (2000–2007). Зазначимо, що у своєму класі цей екорегіон має найбільшу середню абсолютну висоту на найменшу розчленованість рельєфу. Тому його подібно до підвищених низькогір’їв широко використовували для культивування смереки, яка протягом останнього десяти-

ліття тут інтенсивно всихає і, відповідно, є об'єктом широкомасштабних санітарних вирубок. У низькогір'ях – масове заростання колишніх сільськогосподарських земель – ліс з'явився на додаткових 1,3 % площі. Найбільш виражений цей процес у Дністерських Бескидах (С1), де лісистість зросла на 1,7 %.

Найменш залісеною в УК є Верхньотисенська улоговина (О – єдиний представник орографічного класу горбогірних улоговин) – стабільний лісовий покрив тут простежується лише на 14,6 % площі. Однак за своїми ґрунтово-геоморфологічними та біокліматичними умовами цей мезоекорегіон є рівнинним і відзначається давнім інтенсивним сільськогосподарським освоєнням. Крім того, сумарна площа порушень лісового покриву за весь період спостережень тут також була найменшою в УК – 3,2 %, а прояви залісення покинутих сільськогосподарських земель – найвищими (2,1 % площі).

Растровий ГПШ головних річкових басейнів УК має точність не нижчу, ніж у карти масштабу 1 : 100 000 – SRTM дані, на підставі яких він створений, добре фіксують особливості топографії гірських територій і забезпечують хорошу точність визначення вододілів. Всього виділено 14 річкових басейнів сточищ Тиси, Дністра та Прута, які охоплюють 17 482 км<sup>2</sup> – 83,2 % площі УК. Найбільшу площу має басейн Стрия (2 549 км<sup>2</sup>), який належить до річкової системи Дністра. Другим за площею в УК є басейн Черемошу (2 152 км<sup>2</sup>), який є допливом Пруту, а третє місце посідає басейн Ужа (1 552 км<sup>2</sup>), який є складовою сточища Тиси. Найбільші середні абсолютні та відносні висоти (відповідно 1 042 м та 462 м) має басейн Верхньої Тиси, створ якого визначили місцем “виходу” річки на україно-румунський державний кордон перед притокою Вішеул з румунського боку. Найменше вертикальне розчленування в УК має басейн Верхнього Дністра – середні відносні висоти тут становить 202 м (рис. 4).

Найбільш залісеним є басейн Лімниці – стабільний лісовий покрив зберігається тут на 78,5 % площі, а ще 8,2 % площі лісів зазнали порушень протягом періоду спостережень. Найнижча лісистість є у басейні Верхнього Дністра – тут лише 45,1 % площі мають стабільний лісовий покрив, а ще 5,8 % площі мали порушення лісів. Разом з тим, цей басейн має найменшу площу та найслабше розчленування рельєфу у регіоні, що у поєднанні з помірною кількістю опадів приводить до формування порівняно невеликих модулів стоку та витрат [15, 27]. Крім того, тут простежується інтенсивне збільшення чагарниково-лісового покриву за рахунок сільськогосподарських територій – на 1,4 % площі. Такими самими високими обсягами зростання лісистості характеризується лише басейн Ужа.

Стабільна лісистість басейнів Верхньої Тиси та Тересви, які мають найвищі модулі стоку в регіоні [14] становить, відповідно, 71,0 та 61,5 %. При цьому основна частка безлісних територій у цих басейнах припадає на рівнинну Верхньотисенську улоговину та на низькогір'я. Однак у басейні Тересви зафіксована найвища частка порушеного лісового покриву – за весь період спостережень порушено 10,1 % площі. Щоправда, в останній період спостережень (2000–2007) обсяги порушень скоротилися до 1,4 % площі. Ймовірно,

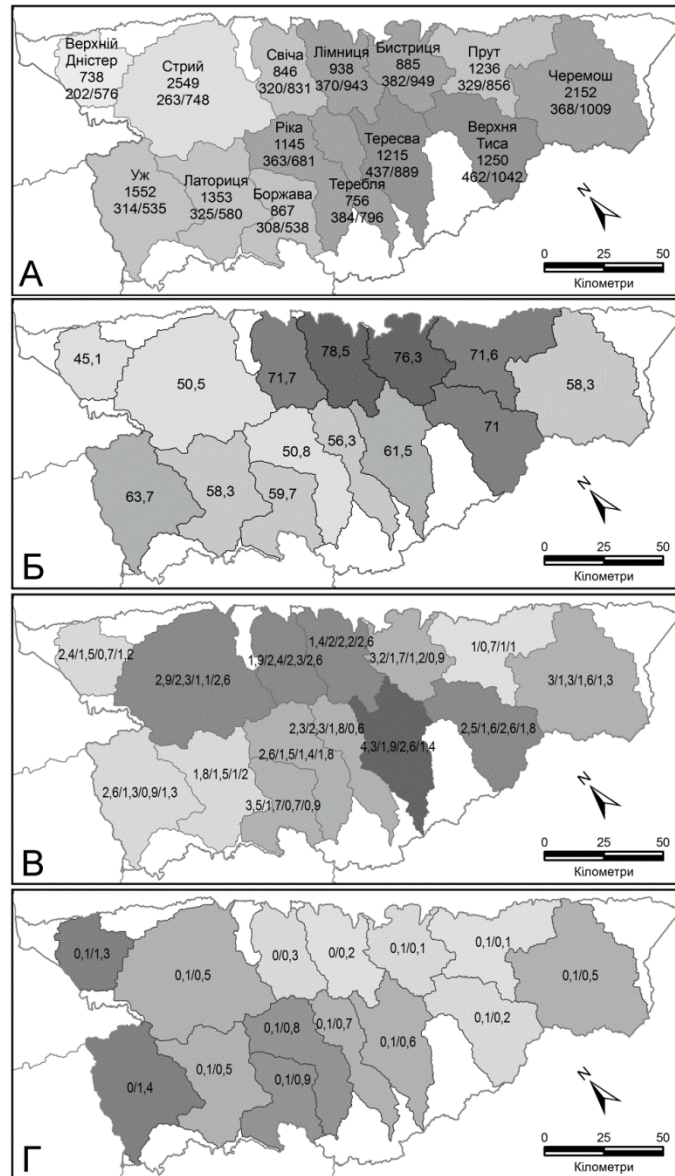


Рис. 4. Динаміка лісистості головних річкових басейнів Українських Карпат:  
 А. Головні річкові басейни: назва – площа (км<sup>2</sup>) – середня відносна висота (м) /  
 середня абсолютна висота (м).  
 Б. Стабільна лісистість (%).  
 В. Частка порушеного лісового покриву (%) за часовими зрізами (роки): до 1988 /  
 1988–1994 / 1994–2000 / 2000–2007.  
 Г. Частка наново залісених територій (%) за часовими зрізами (роки): після 1994 /  
 після 2000

це пов'язано з протипаводковими заходами, запровадженими після катастроф 1998 р. та 2001 р.

Найменша частка порушеного лісу виявлена у басейні Пруту – 3,8 %, а обсяги порушень майже рівномірно розподіляються поміж чотирма часовими зрізами спостережень. Стабільна лісистість цього басейну становила 71,6 %. Стабільне зменшення обсягів порушень у лісовому покриві найбільше виражене у басейнах Терембі та Бистриці, відповідно, 2,3 і 3,2 % від загальної площі у період до 1988 р. до, відповідно, 0,6 і 0,9 % протягом 2000–2007 рр. У басейнах Лімниці та Свічі відбувається стабільне зростання порушень лісів, відповідно, 1,4 і 1,9 % від загальної площі у період до 1988 р. до 2,6 % протягом 2000–2007 рр. (рис. 4).

Результати дослідження засвідчують загалом високу ефективність SVM-класифікації різночасових космозображень Landsat TM/ETM+ для моніторингу та аналізу лісистості на регіональному рівні. Така методика є економічною – її реалізація не потребує багато робочого часу або складного комп'ютерного обладнання, а значна частина космозображень є у вільному доступі в Інтернеті. Серед обмежень зазначимо про неможливість надійно розрізняти типи та вікові класи деревостанів, достовірно фіксувати невеликі за площею (до 0,5 га) ділянки чагарниково-деревної рослинності та її порушень, визначати причини лісових порушень (наприклад, відрізняти вітровальні ділянки від цілеспрямовано вирубаних), а також аналізувати захмарені ділянки.

Здобута інформація дає підстави стверджувати, що показник лісистості всього регіону є цілком достатнім і зростає, принаймні, протягом останніх десятиліть – у 2007 р. сумарна частка чагарниково-деревної рослинності (з урахуванням тимчасово порушених та наново залісених територій) становила 67,9 % від площі УК. Аналіз даних динаміки лісистості у розрізі мезоекорегіонів також засвідчує загалом збалансований у геоecологічному сенсі розподіл лісового покриву та його порушень – лісистість загалом зростає відповідно до збільшення середньої висоти та розчленованості рельєфу територій, а найбільші обсяги порушень зафіксовані у підвищених низькогір'ях з природними та культурними смерековими деревостанами, які є найпридатнішими для лісозаготівлі методом суцільних рубок. Попри це порівняно високі обсяги порушень лісового покриву зафіксовані в окремих мезоекорегіонах: Буковинських внутрішніх горах (D4), Центральних Бескидах (D1), Внутрішніх Горгонах (F2), Полонинах Свидовця (I1) та Гринявах (I3), Апшицько-Косівському низькогір'ї (K2), Зовнішніх Бескидах (C2) та Сянсько-Стрийській Верховині (E1).

Розподіл лісових площ за головними річковими басейнами не викликає особливого занепокоєння – усі басейни мають сумарну лісистість понад 50 %, а ті, які відзначаються найбільшими модулями стоку (Тересви, Верхньої Тиси, Лімниці, Бистриці), – понад 70 %. Отже, сумніви викликає конструктивність пропозицій щодо подальшого заліснення УК для зменшення катастрофічних паводків.

Отже, маємо підстави стверджувати, що питання збільшення лісистості УК загалом не є актуальним. Натомість наголосимо на дослідженнях інших важ-

ливих питань сталого розвитку цього екорегіону, особливо з погляду глобальних кліматичних змін та новітніх соціально-економічних потреб. Серед них можна виділити такі проблеми:

1. Відповідності актуальних деревостанів природним лісорослинним умовам, територіальній збалансованості їхньої вікової структури та обґрунтованості обсягів та способів лісозаготівлі на локальному рівні;

2. Скорочення площ природних та історично-сформованих вторинних лучних геоекосистем, які є важливими елементами біотичного та культурно-ландшафтного різноманіття УК;

3. Геоекологічно-обґрунтованого територіального планування поселень, курортів та інфраструктури для мінімізації негативних наслідків екстремальних гідрокліматичних явищ і для збереження екологічної поєднаності території УК.

*Це дослідження виконане за часткової підтримки Німецької служби наукових обмінів (DAAD).*

- 
1. Генсірук С. А. Ліс – проблема державна і світова / С. А. Генсірук // Лісівнича академія наук України: наукові праці. – 2002. – Вип. 1. – С. 22–26.
  2. Державний комітет лісового господарства України. Про затвердження показників регіональних нормативів оптимальної лісистості території України. Наказ від 29.12.2008 р. № 371.
  3. Кабінет Міністрів України. Державна цільова програма “Ліси України” на 2010–2015 роки. Постанова від 16.09.2009 р. № 977.
  4. Коваль Я. В. Катастрофічні паводки в Карпатах і напрямки запобігання їм / Я. В. Коваль // Лісівнича академія наук України: наукові праці. – 2008. – Вип. 6. – С. 47–50.
  5. Комісія Національної академії наук України. Науково-експертний висновок про природні й техногенні причини проходження паводків у листопаді 1998 та березні 2001 років у Закарпатській області. – К.: РВПС України НАН України, 2001. – 21 с.
  6. Копій Л. І. Зонування території західного регіону України для потреб розширення площі лісових насаджень / Л. І. Копій // Лісівнича академія наук України: наукові праці. – 2004. – Вип. 3. – С. 47–54.
  7. Костриба М. В. Всихання ялинових лісостанів на Буковині / М. В. Костриба, В. О. Крамарець, Г. Г. Гриник та ін. // Лісівництво і агролісомеліорація: зб. наук. пр. – Харків: УкрНДЛГА, 2008. – Вип. 114. – С. 152–158.
  8. Крамарець В. О. Основні напрями формування менеджмент-плану Національного природного парку “Сколівські Бескиди” / В. О. Крамарець, М. І. Коханець, В. І. Бандерич та ін. // Український державний лісотехнічний університет: науковий вісник. – 2002. – Вип. 12.1. – С. 194–198.
  9. Круглов І. Делімітація, метризація та класифікація морфогенних екорегіонів Українських Карпат / І. Круглов // Укр. геогр. журн. – 2008. – № 3. – С. 59–68.
  10. Лавний В. В. Особливості вітровалів та буреломів в Українських Карпатах / В. В. Лавний, Д. Д. Сухарюк // Національний лісотехнічний університет України: науковий вісник. – 2007. – Вип. 17.7. – С. 65–70.
  11. Мельник А. В. Українські Карпати: еколого-ландшафтознавче дослідження / А. В. Мельник. – Львів, 1999. – 286 с.

12. *Нижник М. С.* Лісистість / М. С. Нижник, С. А. Генсірук // Географічна енциклопедія України: в 3-х т. / за ред. О. М. Маринича та ін. – К., 1990. – Т. 2. – С. 276.
13. *Парпан В. И.* Лесной фонд / В. И. Парпан // Украинские Карпаты. Природа / под ред. М. А. Голубца и др. – К.: Наук. думка, 1988. – С. 94–99.
14. *Парпан В. И.* Паводкорегулювальна роль гірських лісів Карпат та шляхи їх оптимізації / В. И. Парпан, В. С. Олійник // Екологія та ноосферологія. – 2009. – Т. 20, № 1–2. – С. 121–127.
15. *Сакали Л. И.* Тепловой и водный режим Украинских Карпат / Л. И. Сакали, Л. В. Дмитренко, Е. Н. Киптенко та ін. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – 358 с.
16. *Стойко С. М.* Причини катастрофічних паводків у Закарпатті та система екологічних профілактичних заходів їх попередження / С. М. Стойко // Український ботанічний журнал. – 2000. – Т. 57, № 1. – С. 23–24.
17. *Ткач В. П.* Сучасні проблеми оптимізації лісистості України / В. П. Ткач, В. Л. Мешкова // Лісівництво і агролісомеліорація: зб. наук. пр. – Харків: УкрНДІЛГА, 2008. – Вип. 113. – С. 8–15.
18. *Фурдичко О. І.* Карпатські ліси: проблеми екологічної безпеки і сталого розвитку / О. І. Фурдичко. – Львів: Біблос, 2002. – 192 с.
19. *Bailey R. G.* Ecoregion-based design for sustainability / R. G. Bailey. – New-York: Springer, 2002. – 222 p.
20. *Baumann M.* Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine / M. Baumann, T. Kuemmerle, M. Elbakidze et al / Land Use Policy. – 2011. – № 28. – P. 552–562.
21. *Burges C. J.* A tutorial on support vector machines for pattern recognition / C. J. Burges // Data Mining and Knowledge Discovery. – 1998. – № 2. – P. 121–167.
22. Environmental Systems Research Institute. Using ArcGIS Spatial Analyst. – Redlands, 2002.
23. *Foody G. M.* Status of land cover classification accuracy assessment / G. M. Foody // Remote Sensing of Environment. – 2002. – № 80. – P. 185–201.
24. *Foody G. M.* Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification / G. M. Foody, A. Mathur // Remote Sensing of Environment. – 2004. – № 93. – P. 107–117.
25. *Heathcote I. W.* Integrated watershed management and practice: 2-nd edition / I. W. Heathcote. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. – 453 p.
26. *Jarvis A.* Hole-filled SRTM for the globe Version 3 / A. Jarvis, H. I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara. Available from the CGIAR-CSI SRTM 90 m Database, 2006 (<http://srtm.csi.cgiar.org>).
27. *Kovalchuk I.* The hydrological regime of the Upper Dnister Basin / I. Kovalchuk, A. Mykhnovych // Transformation processes in the Western Ukraine. Concepts for a sustainable land use / ed. by M. Roth et al. – Berlin: Weissensee Verlag, 2008. – P. 113–124.
28. *Kozak J.* European forest cover mapping with high resolution satellite data: The Carpathians case study / J. Kozak, C. Estreguil, K. Ostapowicz // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2008. – Vol. 10, № 1. – P. 44–55.
29. *Kuemmerle T.* Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007 / T. Kuemmerle, O. Chaskovskyy, J. Knorn et al // Remote Sensing of Environment. – 2009. – Vol. 113 (6). – P. 1194–1207.
30. *Kuemmerle T.* Cross-border comparison of land cover and landscape pattern in Eastern Europe using a hybrid classification technique / T. Kuemmerle, P. Hostert, K. Perzanowski et al // Remote Sensing of Environment. – 2006. – Vol. 103. – P. 449–464.
31. *Kuemmerle T.* Cross-border comparison of postsocialist farmland abandonment in the Carpathians / T. Kuemmerle, P. Hostert, V. Radeloff et al // Ecosystems. – 2008. – Vol. 4. – № 11. – P. 614–628.

32. *Kuemmerle T.* Post-socialist forest disturbance in the Carpathian border region of Poland, Slovakia, and Ukraine / T. Kuemmerle, P. Hostert, V. Radeloff et al // *Ecological Applications*, 2007. – № 17(5). – P. 1279–1295.
33. United Nations Environmental Programme. Framework convention on the protection and sustainable development of the Carpathians. – Kyiv, 2003.

*Стаття: надійшла до редколегії 16.05.2013  
доопрацьована 12.07.2013  
прийнята до друку 25.09.2013*

### FOREST COVER DYNAMICS IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS DURING 1988–2007: A GEOMATICS-BASED GEOECOLOGICAL ANALYSIS

**I. Kruglov<sup>1</sup>, T. Kuemmerle<sup>2</sup>, O. Chaskovsky<sup>3</sup>, J. Knorn<sup>2</sup>,  
V. Radeloff<sup>4</sup>, P. Hostert<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Ivan Franko Lviv National University, Ukraine)*

<sup>2</sup>*Humboldt University of Berlin, Germany*

<sup>3</sup>*National Forestry Engineering University of Ukraine, Ukraine*

<sup>4</sup>*University of Wisconsin-Madison, USA*

Landsat TM/ETM+ images covering the whole Ukrainian section of the Carpathian Ecoregion and representing four time periods (1988–1989, 1994, 2000–2002, 2006–2007) were processed using SVM-classification and overlaid to detect changes in forest cover. The changes were analysed for the whole study area, for 33 individual meso-ecoregions and their seven orographic classes as well as for the 14 main river basins. The study showed decrease of forest disturbances, mainly caused by clear-cuttings, after 1988 and their slight increase after 2000 together with a significant increase of new forest succession areas. The obtained indices differ from those previously mentioned in Ukrainian publications. The distribution of the forest cover and its disturbances across the ecoregions and the basins reveals generally sustainable pattern – the stable forest cover increases with the growth of mean relative and absolute elevations. Relatively high recent disturbance rates in some meso-ecoregions, especially of low- and medium-mountains, are possibly caused by massive die-back of cultural spruce stands. However, it is not expedient to further increase the forest cover of the river basins and the region in general.

*Key words:* Ukrainian Carpathians, forest cover change, remote sensing, ecoregions, river basins.

### ДИНАМИКА ЛЕСИСТОСТИ УКРАИНСКИХ КАРПАТ НА ПРОТЯЖЕНИИ 1988–2007 ГОДОВ: ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВАМИ ГЕОМАТИКИ

**И. Круглов<sup>1</sup>, Т. Кюммерле<sup>2</sup>, О. Часковський<sup>3</sup>, Я. Кнорн<sup>2</sup>,  
Ф. Раделофф<sup>4</sup>, П. Гостерт<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Украина*

<sup>2</sup>*Берлинский университет имени Гумбольдта, ФРГ*

<sup>3</sup>*Национальный лесотехнический университет Украины, Украина*

<sup>4</sup>*Университет Висконсин-Мэдисон, США*

Классифицировано космоизображения Landsat TM/ETM +, охватывающие все Украинские Карпаты по четырем временным срезам (1988–1989, 1994, 2000–2002 и 2006–2007 года) методом опорных векторов. По оверлейному анализу выявлено динамику лесного покрова для региона в целом, 33 индивидуальных мезоэкорегіонов и их семи орографических классов, а также для 14 крупнейших речных бассейнов.

*Ключевые слова:* Украинские Карпаты, динамика лесистости, дистанционное зондирование, экорегіоны, речные бассейны.