

УДК 910.26:911.52:574.42

О. С. Мкртчян¹, канд. геогр. наук, доцент**Д. В. Свідзінська²**, канд. геогр. наук, доцент¹Львівський національний університет імені Івана Франка,²Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

вул. Володимира Великого 63/371, Львів, 79053

alemkrt@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН НАЗЕМНОГО ПОКРИВУ БАСЕЙНУ ЧОРНОЇ ТИСИ ТА ЙОГО ФАКТОРІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КОСМОЗНІМКІВ

У статті розглянуто методику та результати дослідження змін наземного покриву басейну Чорної Тиси шляхом класифікації космознімків Landsat з використанням спеціалізованого модулю напівавтоматичної класифікації для QGIS. Проаналізовано зміни, які мали місце протягом періодів 1989 – 1998 та 1998 – 2009 р.р. За допомогою методів множинної логістичної регресії та ієрархічного членування досліджено вплив низки чинників на трансформацію наземного покриву. Виявлені закономірності та тенденції мають значення для ландшафтного планування та організації природоохоронної діяльності.

Ключові слова: наземний покрив, класифікація космознімків, Чорна Тиса, Landsat, QGIS, фрагментація оселищ.

ВСТУП

Одним з найважливіших завдань ландшафтно-екології є дослідження змін у ландшафті, спричинених різноманітними чинниками. Комплексний вплив цих чинників знаходить відбиток у динаміці малюнку ландшафтно-структури.

Українські Карпати є найбільшим в країні осередком збережених природних екосистем та біологічного різноманіття. Також вони виконують функцію біокоридора, сполучаючи значні осередки біорізноманіття в Південних та Західних Карпатах. Відома роль лісів та природної лучної рослинності у регулюванні водного балансу, захисту ґрунту від ерозії, депонуванні вуглецю. Протягом останніх кількох десятиліть в Україні відбулись різкі соціально-економічні перетворення, які зокрема знайшли прояв у змінах практик землекористування в межах Карпатського регіону. Рушійні сили та детальні механізми цих змін та пов'язаних з ними змін у структурі наземного покриву (НП) залишаються недостатньо вивченими. В свою чергу, істотні зміни площ та просторових конфігурацій природних екосистем мають значний вплив на збереження біологічного різноманіття фауни та флори та рівень забезпечення інших важливих екосистемних функцій.

Оскільки офіційна статистика щодо обсягів лісозаготівель та динаміки вкритих лісом площ є ненадійною з огляду на значні обсяги неврахованих

самовільних (незаконних) рубок, великого значення набувають методи дослідження і моніторингу, які ґрунтуються на об'єктивних даних дистанційного зондування Землі. Методики дистанційного зондування та аналізу дистанційних зображень постійно вдосконалюються, даючи змогу, порівнюючи зображення, отримані в різні періоди часу, відслідковувати зміни НП. Найтривалішим проектом з дистанційного зондування Землі є програма Landsat. Перший супутник в рамках цієї програми Landsat 1 був запущений 1972 року; наразі функціонують супутники Landsat 7 та Landsat 8 (останній запущено у лютому 2013 року). Протягом вже тривалого часу дистанційні зображення, отримані з супутників серії Landsat ефективно використовують в різного роду екологічних дослідженнях, зокрема – з метою виявлення кількісних змін в просторовій структурі ландшафтів [8].

В останнє десятиліття опубліковано серію досліджень, в яких оцінюються зміни в структурі НП Українських Карпат та робляться спроби розкрити головні чинники цих змін, на основі опрацювання даних Landsat із застосуванням новітніх методів аналізу та класифікації геозображень. В дослідженні [14] алгоритм на підставі методу опорних векторів був використаний у картуванні покинутих сільськогосподарських угідь. Було зокрема виявлено, що в західній частині Українських Карпат 13,3% від усіх оброблюваних земель було покинуто в період від 1988 по 2000 р. На відміну від сусідніх регіонів Польщі та Словаччини, тут не спостерігалось зростання площ покинутих земель зі збільшенням висоти та крутизни схилів, та було майже відсутнє відновлення лісів [14]. В іншому дослідженні, яке просторово охоплювало цілий Карпатський регіон України на рівні адміністративних районів, були виявлені відносно менші площі покинутих сільськогосподарських угідь на більших висотах та спадистих схилах та позитивний зв'язок між цими площами та щільністю інфраструктури [5]. Такий результат є певним чином парадоксальним та суперечить закономірностям, виявленим у Західній Європі, де покинуті угіддя більш характерні для територій з несприятливими природними умовами ведення сільського господарства та віддалених від інфраструктури та місцевих ринків. Визначальний вплив на виникнення такої закономірності має основний чинник – зникнення та занепад високоіндустріалізованих колективних господарств, які в радянський період займали найкращі землі, тоді як невеликі натуральні приватні господарства зазнали меншого впливу соціополітичних змін. Ще одне дослідження з використанням цієї ж методики виявило закономірності зміни заліснених площ в Українських Карпатах за період 1988 – 2007 р.: невелике збільшення загальної залісненої площі в Українських Карпатах, її збільшення в периферійних районах та зменшення у внутрішній частині Українських Карпат через збільшення вирубок лісів у віддалених районах [13]. Автори дослідження припускають, що це може свідчити про втрату старовікових лісів та триваючу фрагментацію великих лісових масивів.

Зазначені дослідження містять лише загальні висновки стосовно просторової структури новітніх змін НП Українських Карпат. Проте становить інтерес

більш детальний кількісний аналіз залежностей між цими змінами та морфометричними і географічними параметрами; результати такого аналізу можуть надати цікаву і цінну інформацію стосовно природних та антропогенних рушіїв і чинників, які визначають або істотно впливають на зміни в ландшафтах. Також становлять інтерес можливості прогнозування майбутніх змін в структурі НП та інтерпретації цих змін з погляду параметрів ландшафтної структури, які впливають на збереженість біологічного різноманіття.

Завданнями нашого дослідження є: аналіз новітніх змін НП в межах дослідної ділянки в Українських Карпатах; визначення їхніх головних рушійних сил та факторів; інтерпретація цих змін з точки зору втрати та фрагментації оселищ біоти через аналіз динаміки ландшафтних метрик.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості дослідної площі обрано басейн Чорної Тиси (24.14° – 24.55° E, 48.07° – 48.40° N). Загальна його площа становить $567,72$ км², діапазон абсолютних висот 447 – 2004 м. Площа охоплює гірські ландшафти різних видів, які умовно можна віднести до чотирьох висотних смуг: 1) терасовані дніща річкових долин та міжгірських улоговин, сильно трансформовані антропогенною діяльністю, зі складною мозаїкою переважно букових лісів, посівів, забудови та вторинних лук; 2) низькогір'я та нижні частини схилів середньогір'я, вкриті мішаними лісами з ділянками вторинних лук; 3) підвищені частини середньогір'я, переважно вкриті хвойними (смерековими) лісами; 4) високогір'я, вкриті гірсько-сосновим криволіссям, субальпійськими та альпійськими луками.

Використані в дослідженні дані включають оброблені космознімки Landsat 5 TM; цифрову модель рельєфу (ЦМР) SRTM з просторовою роздільністю 1 кутова секунда ~ 30 м; векторні дані OpenStreetMap. Для обробки, аналізу та графічного представлення даних використовувалось наступне програмне забезпечення: QGIS, SAGA, Fragstats та R.

В аналізі змін НП використовувались скориговані дані Landsat, які безпосередньо відображають відбивну здатність земної поверхні [15]. Для аналізу часових змін використано три сцени, що покривають дослідну ділянку та відзняті сенсором Landsat 5 ETM+ (Path 184, Row 026, 027) 8 липня 1989 р., 2 серпня 1998 р. та 15 липня 2009 р. Шари спектральних каналів були піддані топографічній корекції з використанням методу нормалізації [7], та до них було застосовано маски, які виключають з аналізу водні поверхні та території, які були на момент зйомки закриті хмарами. На основі спектральних каналів 1 – 4 (видимі синій, зелений і червоний та ближній інфрачервоний) було виконано контрольовану класифікацію з використанням алгоритму максимальної правдоподібності (Maximum Likelihood algorithm), з метою чого ми використали Модуль напівавтоматичної класифікації для QGIS [9]. Інші вказані вище дані використано головним чином для характеристики факторів та рушійних сил

трансформацій НП (останні визначимо як повні зміни одного класу НП іншим, які сукупно призводять до зміни структури НП).

Для порівняльного аналізу впливу різних факторів на трансформації НП використано методи множинної логістичної регресії (МЛР) та ієрархічного членування. Логістична регресія – це різновид регресійного аналізу, який оцінює ймовірність виникнення деякої події як функцію лінійної комбінації пояснювальних змінних (факторів) [4]. МЛР широко використовуються в аналізі чинників, які впливають на зміни у НП [20]. МЛР можна побудувати використовуючи функцію `glm()` програмного середовища R з параметром `family = binomial` (`link = «logit»`).

Ієрархічне членування – це перспективний статистичний метод, який дозволяє впорядкувати (ранжувати) пояснювальні змінні за їхнім незалежним внеском, враховуючи при цьому мультиколінеарність між цими змінними [6]. Це дає змогу виокремити величину варіабельності події, яку можна приписати кожній окремій змінній, визначивши таким чином найбільш важливі предиктори з переліку ймовірних. З цією метою нами використаний спеціальний модуль `'hier.part'` програмного середовища R. В цьому модулі використовується алгоритм ієрархічного членування, що дозволяє отримати на виході таблицю, яка містить перелік пояснювальних змінних та незалежний внесок кожної з цих змінних (I) у загальну варіабельність [6].

Останній етап дослідження передбачав аналіз часової динаміки фрагментації лісових екосистем (найбільшого осередку біорізноманітності території). Фрагментація лісових екосистем тягне за собою низку впливів на окремі види та угруповання, включаючи крайові ефекти, які зумовлюють деградацію та зникнення оселищ та, як наслідок, зменшення біорізноманіття [11]. Деякі особливо чутливі види формують сталі популяції лише у внутрішніх частинах (ядрах) лісових плям, що є достатньо ізольованими від збурюючих впливів, тоді як деякі інші види віддають перевагу буферним зонам (екотонам), зокрема тим, що формуються вздовж узлісь. Таким чином, вплив фрагментації відрізняється для різних видів і є особливо відчутним для тварин великих розмірів та таких, що перебувають на вершині трофічних ланцюгів [21].

Для кількісної характеристики фрагментації лісових екосистем з використанням програмного забезпечення `FragStats 4.2` було обраховано декілька ландшафтних метрик для класу НП, який відповідає лісовому покриву [16]. Обраховувались наступні метрики: 1) загальна площа лісового класу (га); 2) процентна частка території, яку займає лісовий клас; 3) фрактальна розмірність, що характеризує співвідношення між периметром та площею плям (PAFRAC); 4) загальна площа внутрішніх ядер лісових плям; 5) процентна частка внутрішніх ядер у загальній площі лісових плям; 6) загальна довжина узлісь (км); 7) середня площа лісової плями (га). Внутрішні ядра визначались як частини лісових плям, які віддалені від узлісь на відстань не меншу, ніж заданий параметр – ширина границі – що в свою чергу встановлюється в за-

лежності від класу НП, який межує з лісовою плямою. Максимальне значення цього параметру (200 м) встановлене для класу НП, який відповідає штучним поверхням (дороги, будівлі, інженерні споруди тощо), які здебільшого асоціюються з найбільш інтенсивними антропогенними збуреннями (шум, викиди тощо). Найменше значення цього параметру (50 м) встановлене для класів НП, які відповідали природним екосистемам нелісового характеру (луки, чагарники тощо).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Шляхом класифікації в межах дослідної площі вдалось виділити вісім окремих первинних класів НП. Три з них після класифікації об'єднали, отримавши таким чином шість класів. Клас 1 відповідає штучним поверхням, клас 2 – свіжими вирубкам. Клас 3 відповідає лісовій рослинності: хоча в межах дослідної площі присутні різні типи лісів (хвойні і листяні, складені різними породами), відокремлення цих типів під час класифікації космознімків сильно ускладнене значними площами мішаних лісів, де різні листяні та хвойні породи присутні у різних пропорціях. Клас 4 сформований злиттям трьох спектрально відмінних первинних класів, кожний з яких зустрічався майже виключно у високогірних місцезонах, на висоті понад 1600 м н.р.м. Ці класи відповідають альпійській і субальпійській трав'янистій (луки) та чагарниково-низьколісній (гірська сосна) рослинності, а також кам'яним розсіпам і скельним виходам. Клас 5 відповідає чагарникам та низьким або розрідженим деревостанам, часто сформованим на місцях колишніх вирубок та покинутих сільськогосподарських угідь. Клас 6 відповідає трав'янистій рослинності за винятком лук вище верхньої межі лісу: природним лукам, пасовищам, а також ділянкам ріллі.

Усього було отримано три часові зрізи структури НП дослідної площі, станом на 1989, 1998 та 2009 р.р. Порівняння цих зрізів дало змогу виявити зміни НП, які мали місце в періоди 1989 – 1998 та 1998 – 2009 р.р., та виділити найбільш показові трансформації НП (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл площ класів НП та їхні зміни

Клас НП	Площа класу, га			Зміни площі класу (1989/98), %	Зміни площі класу (1998/09), %
	1989	1998	2009		
1	371	285	318	-23,18	11,58
2	336	252	125	-25,00	-50,40
3	31434	29357	29423	-6,61	0,22
4	2080	2174	877	4,52	-59,66
5	11691	12396	13306	6,03	7,34
6	10468	11916	12331	13,83	3,48

З таблиці можна зауважити, що площа класу 1 (штучні поверхні) істотно зменшилась у 1990-ті роки, коли соціально-економічна криза в Україні була найбільш глибокою, і дещо збільшилась у наступний період. Клас 2 істотно скоротився у площі протягом обох періодів, що ймовірно відбиває зменшення промислових суцільних рубок лісу. Площа лісового класу 3 зменшилась у першій період (1989 – 1998), але пізніше стабілізувалась. Клас 4, який відповідає високогірним екосистемам, суттєво зменшився у площі після 1998 року, що може вказувати на прояв новітніх змін клімату [18]. Класи 5 та 6, які в основному відповідають вторинним та серійним угрупованням, за зазначені періоди збільшились у площі.

Для аналізу факторів і виявлення рушійних сил трансформацій НП, нами запропонований набір просторово розподілених показників, які можуть слугувати пояснювальними змінними. Одним з таких показників є абсолютна висота, яка безпосередньо відображена на ЦМР і тісно пов'язана з просторовим розподілом низки екологічних факторів. Іншим важливим чинником є ступінь розчленованості (шорсткості) рельєфу, який впливає на придатність території для різних форм людської діяльності, як-от будівництво, використання важкої сільськогосподарської техніки та активний туризм. Для кількісної характеристики цього чинника ми використали Індекс розчленованості рельєфу (ІРР), який обраховується як сума квадратів різниць у висоті між пікселем растру та його вісьмома сусідніми пікселями [19]. Ми використовували ІРР як в якості самостійного предиктора, так і в якості міри витрат при обрахунку низки інших пояснювальних змінних – витратних відстаней, які характеризують відносне місцезоположення. Такими витратними відстанями були: відстань до найближчої великої дороги (ВВ_Д); до найближчих штучних поверхонь (ВВ_Ш); до класу трав'янистої рослинності (ВВ_Т); до найближчого лісу (ВВ_Л). Показано зокрема, що доступність доріг та віддаль до земельних ділянок з різними способами землекористування можуть бути вагомими чинниками трансформації НП [12].

З метою більш детального аналізу впливу пояснювальних змінних, було виокремлено декілька важливих типів трансформацій НП, а саме: знеліснення (зникнення лісів), яке визначається як трансформація класу 3 у будь-який інший клас; відновлення лісів (трансформація іншого класу у клас 3); деальпінізація (зникнення класу 4) (рис. 1, 2). Для кожного з типів трансформацій НП було створено моделі множинної логістичної регресії та ієрархічного членування (для знеліснення та відновлення лісів – для обох часових періодів, для деальпінізації – лише для періоду 1998 – 2009 р.р.) Для кожної значимої пояснювальної змінної були обраховані значення z -критерію регресійної моделі та критерію I моделі ієрархічного членування. Абсолютна величина цих критеріїв є показником сили зв'язку, а знак z показує напрямок зв'язку (позитивний чи негативний). Для кожного типу трансформації також обраховано Інформаційний критерій Акаїке АІС, який показує ступінь впливу на ймовірність даного

типу трансформації НП цілої сукупності пояснювальних змінних, а отже вказує, наскільки відповідний тип трансформації протягом даного часового періоду був детермінований географічними чинниками. Слід проте зауважити, що обраховані значення критерію z не можна використовувати для оцінки статистичної значимості зв'язків через наявність суттєвої просторової автокореляції в даних, яка штучно завищує кількість ступенів свободи; даний критерій тут використано виключно для порівняння відносної сили впливу різних пояснювальних змінних.

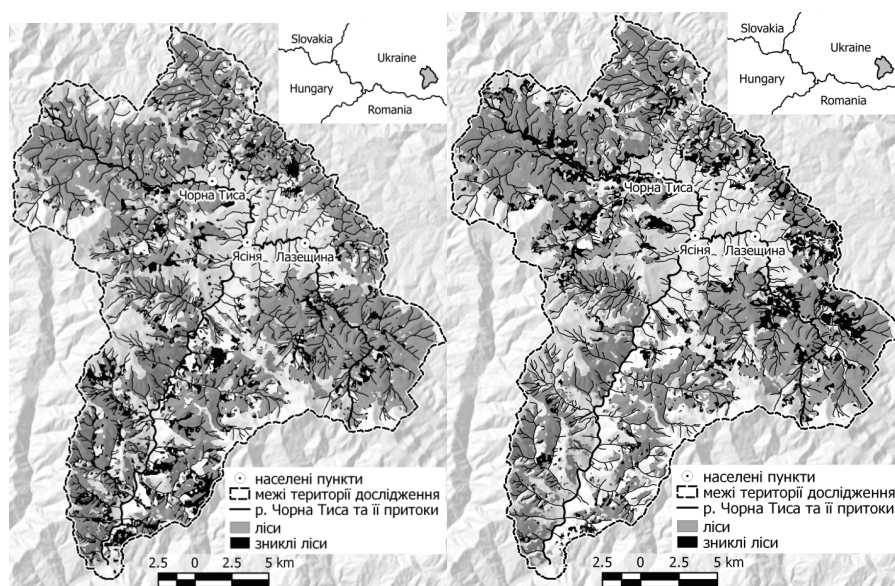


Рис. 1. Поширення вкритих лісом ділянок та ділянок, де ліси зникли протягом відповідного періоду: 1989-98 (ліворуч), 1998-09 (праворуч)

Як можна побачити з табл. 2, чинники впливу на процес знеліснення суттєво відрізнялись для двох проаналізованих часових періодів. Якщо протягом 1990-х років ліси переважно зникали на крутих схилах і на нижчих висотах, то пізніше найбільш значимим фактором зникнення лісів стали наближеність до населених пунктів та дорожньої інфраструктури. Також поміж обома часовими періодами відчутно відрізнялись фактори, які впливали на відновлення лісів: хоча в обох випадках найбільш значимим фактором була наближеність до існуючих лісових екосистем (яка, очевидно, визначає поширення природного відновлення лісу), вплив інших факторів протягом періоду 1989 – 1998 р.р. був маловідчутним, про що також свідчить відносно низьке значення критерію Акаїке АІС. Така картина говорить про те, що в даний проміжок часу на цій території було практично відсутнє штучне насадження лісу. Натомість, після 1998 р. простежуються й ознаки штучного відновлення лісів (в основному на крутих схилах, непридатних для господарського використання).

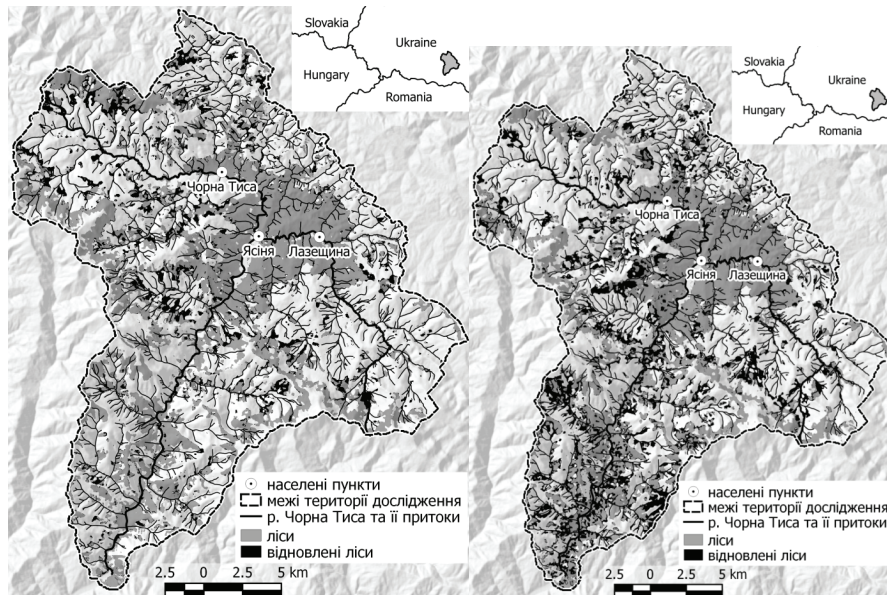


Рис. 2. Поширення вкритих лісом ділянок та ділянок, де з'явилися нові ліси протягом відповідного періоду: 1989-98 (ліворуч), 1998-09 (праворуч)

Щодо деальпінізації, простежено зв'язок поширення цього процесу з абсолютною висотою і наближеністю до лучних екосистем (негативний зв'язок) та із забезпеченістю теплом (позитивний зв'язок). Скорочення площі класу 4, який відповідає високогірним екосистемам, протягом 1998–2009 р.р. переважно відбулось за рахунок трансформації у класи 5 та 6 (чагарники і низькорослі/розріджені деревостани, та низькогірні луки). Можна зробити висновок, що, в той час як підняття верхньої межі лісу є дуже повільним процесом через властиву біоценозам інерційність та тривалий життєвий цикл деревних видів, більш швидким та помітним проявом сучасних кліматичних змін може бути зміна властивих високогір'ям субальпійських і альпійських біоценозів біоценозами з переважанням трав'янистих і чагарникових видів, властивих лукам нижчих висотних поясів, що знаходить прояв у характеристиках відбивної здатності екотярусу.

Щоб оцінити вплив трансформацій НП на цілісність та зв'язність лісових екосистем, було обраховано декілька ландшафтних метрик для класу 3. Як можна бачити з табл. 3, в той час як загальна вкрита лісом площа дещо зросла в період з 1998 по 2009 р. після суттєвого скорочення у попередній період, площа внутрішніх ядер, де живі організми найбільш захищені від зовнішніх збурень, продовжувала скорочуватись через посилення фрагментації лісових плям. Це виявляється у збільшенні значення метрики PAFRAC, зростанні довжини узлісь та зменшенні площі лісових плям.

Таблиця 2

Вплив пояснювальних змінних на типи трансформацій НП

Пояснювальна змінна	Ззелінення, 1989-98		Ззелінення, 1989-98		Відновлення лісів, 1989-98		Відновлення лісів, 1998-09	
	z	I	z	I	z	I	z	I
Абсолютна висота	-100.4	1.7	-50.1	0.45	33.1	0.77	6.8	0.47
IPP	57.7	1.58	-48.1	0.5	28.7	0.23	89.0	3.42
ВВ_Д	-69.5	0.54	-69.8	0.85	72.0	2.19	46.7	1.15
ВВ_Ш	-22.9	0.12	-87.7	2.12	30.5	0.1	26.5	0.13
ВВ_Т	-75.1	2	-56.7	0.59				
ВВ_Л					-116.7	10	-117.6	8.73
Загальний АІС	294667		298221		198257		287568	

Існує декілька напрямків вдосконалення методики, використаної нами в даному дослідженні. Класифікація НП методом опорних векторів добре зарекомендувала себе при картуванні покинутих сільськогосподарських угідь, оскільки цей метод добре розрізняє складні спектральні класи, дозволяючи відокремити посіви сільськогосподарських культур від природної лучної рослинності. Розпізнавання класів НП може також бути покращене завдяки використанню космознімків, отриманих в різні сезони року, що дозволить розрізнити типи рослинності, які відрізняються за особливостями фенологічного циклу (насамперед, листяні та хвойні деревостани). Врахування просторової автокореляції даних дозволить робити добре обґрунтовані статистично висновки щодо значущості зв'язків між трансформаціями НП та пояснювальними змінними.

Таблиця 3

Часова динаміка ландшафтних метрик, стосовно лісових плям

Рік	Загальна площа, га	% від площі території	PAFRAC	Площа внутрішніх ядер, га	% внутрішніх ядер у площі лісового класу	Довжина узлісь, км	Середня площа лісових плям, га
1989	31434	55.8	1.274	23844	75.85	1762	77.9
1998	29357	52.07	1.264	22469	76.54	1663	65.4
2009	29423	52.19	1.272	21694	73.73	1763	49.4

ВИСНОВКИ

Досліджувана територія, як і в цілому Українські Карпати, зазнала значних змін у наземному покриві протягом останніх десятиліть, що є наслідками роз-

повсюдженого занепаду сільськогосподарського виробництва, кризових явищ у менеджменті лісового господарства та поширення незаконних рубок. Виявлена нами загальна картина в цілому узгоджується з результатами попередніх досліджень. Основні рушійні сили та фактори змін НП в Українських Карпатах суттєво відрізняються від тих, що переважають в аналогічних природних умовах в країнах Західної Європи, а також є суттєво відмінними для періодів 1989 – 1998 р.р. та 1998 – 2009 р.р. Якщо протягом 1990-х ліси вирубались головним чином на крутих схилах річкових долин, то в пізніший період головними факторами, пов'язаними зі зникненням лісів, виявились наближеність до населених пунктів та автодоріг. Одним з чинників зменшення площ лісів в першій часовий проміжок можуть також бути катастрофічні вітровали, які мали місце у 1989 – 90 роках [3].

В той час як зменшення загальної покритої лісом площі, яке мало місце до 1998 р., пізніше припинилось, подалі триває процес знеліснення внутрішніх районів Українських Карпат, які містять найбільш важливі для збереження біорізноманіття малозмінені екосистеми. Триває і процес фрагментації лісових плям, що засвідчують відповідні зміни ландшафтних метрик. Відповідно, погіршуються якісні характеристики оселищ.

Причиною зазначених явищ є незадовільний стан управління лісовими ресурсами, недостатній контроль за забезпеченням їхнього сталого використання. Чи не найпоширенішою правовою лазівкою, що дозволяє проводити суцільні вирубки і заготівлю деревини, в тому числі в межах природоохоронних територій, є так звані санітарні рубки, які проводять нібито задля боротьби з поширенням шкідливих комах і хвороб лісу, а також для видалення мертвої деревини у деревостанах, пошкоджених внаслідок буреломів, вітровалів, лісових пожеж. Проте останнім часом доцільність цих рубок з фітосанітарної точки зору піддається сумнівам [10]. Існує думка, що санітарні рубки лісу по суті є лише прикриттям для комерційної заготівлі лісу в об'єктах природно-заповідного фонду [1]. З іншого боку, такі санітарні рубки часто проводять у культурних смерекових деревостанах (*Piceeta*) букового висотного поясу, які масово всихають протягом останнього часу через невідповідність екологічним умовам, підсилену глобальними кліматичними змінами [2]. В даному випадку рубки повинні супроводжуватись лісовідновними роботами, причому структура відновлюваних деревостанів повинна відповідати екологічним умовам.

Ще одним явищем, яке викликає занепокоєння, є суттєве скорочення площ, зайнятих високогірними альпійськими і субальпійськими угрупованнями, які часто містять рідкісні та ендемічні види, і поступово заміщуються угрупованнями, раніше характерними для більш понижених місцеположень. Можливою причиною цього є суттєві зміни клімату в бік потепління, проте можливо присутній вплив і інших чинників, як-от значного зменшення випасання худоби на полонинах на межі смерекового та субальпійського поясів, що призводить до заростання полонин [2].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Борейко В. Е., Бриних В. А., Парникоза И. Ю.* Заповедность (пассивная охрана природы). Теория и практика [Текст] / В. Е. Борейко, В. А. Бриних, И. Ю. Парникоза. – К. : КЭКЦ, 2015. – 112 с.
2. *Круглов І., Кюммерле Т., Часковський О., Кноرن Я., Раделлофф Ф., Гостерт П.* Динаміка лісистості Українських Карпат протягом 1988–2007 років: геоecологічний аналіз засобами геоматики [Текст] / І. Круглов, Т. Кюммерле, О. Часковський [та ін.]. // Вісник Львівс. університету. Серія географічна. – 2013. – Вип. 46. – С. 218-233.
3. *Фурдичко О. І.* Карпатські ліси: проблеми екологічної безпеки і сталого розвитку [Текст] / О. І. Фурдичко / - Львів : Біблос, 2002. – 192 с.
4. *Affi A. A., Clark V.* Computer aided multivariate analysis [Текст] / A. A. Affi, V. Clark. – London : Chapman Hall, 1998. – 455 p.
5. *Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V. C., Keuler N. S., Prishchepov A. V., Kruhlov I.* Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine [Текст] / M. Baumann, T. Kuemmerle, M. Elbakidze [та ін.] // Land Use Policy – 2011. – Iss. 28. – P. 552–562.
6. *Chevan A., Sutherland M.* Hierarchical partitioning [Текст] / A. Chevan, M. Sutherland // The American Statistician. - 1991. - Iss. 45. - P. 90-96.
7. *Civco D. L.* Topographic normalization of Landsat Thematic mapper digital imagery [Текст] / D. L. Civco // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1989. – Iss. 55(9). – P. 1303-1309.
8. *Cohen W. B., Goward S. N.* Landsat's role in ecological applications of remote sensing [Текст] / W. B. Cohen, S. N. Goward // BioScience. – 2004. – Iss. 54(6). – P. 535-545.
9. *Congedo L., Munafo M., Macchi S.* Investigating the relationship between land cover and vulnerability to climate change in Dar es Salaam. Working Paper [Текст] / L. Congedo, M. Munafo, S. Macchi. – Rome : Sapienza University, 2003. – 48 p.
10. Dead wood – living forests. [Електронний ресурс] : WWF Report. - 2004. – [15 с.]. - Режим доступу : <http://www.nbu.gov.ua/library/ukrmarc.html> (дата звернення: 15.11.2015).
11. *Debinski D. M., Holt R. D.* A survey and overview of habitat fragmentation experiments [Текст] / D. M. Debinski, R. D. Holt // Conservation Biology. - 2000. – Iss. 14. - P. 342-355.
12. *Kolb M., Mas J. – F., Galicia L.* Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico [Текст] / M. Kolb, J. – F. Mas, L. Galicia // International Journal of Geographical Information Science. - 2013. - Iss. 27 (9). - P. 1804-1827.
13. *Kuemmerle T., Chaskovskyy O., Knorn J., Radeloff V. C., Kruhlov I., Keeton W. S., Hostert P.* Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007 [Текст] / T. Kuemmerle, O. Chaskovskyy, J. Knorn [та ін.] // Remote Sensing of Environment. - 2009. - Iss. 113. - P. 1194-1207.
14. *Kuemmerle T., Hostert P., Radeloff V. C., derLinden S., Perzanowski K., Kruhlov I.* Cross-border comparison of post-socialist farmland abandonment in the Carpathians [Текст] / T. Kuemmerle, P. Hostert, V. C. Radeloff [та ін.] // Ecosystems. - 2008. - Iss. 11. - P. 614-628.
15. *Masek J. G., Vermote E. F., Saleous N., Wolfe R., Hall F. G., Huemmrich F., Gao F., Kutler J., Lim T. K.* A Landsat surface reflectance data set for North America, 1990-2000 [Текст] / J. G. Masek, E. F. Vermote, N. Saleous [та ін.] // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. - 2006. - Iss. 3. - P. 68-72.
16. *McGarigal K., Marks B. J.* FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351 [Текст] / K. McGarigal, B. J. Marks // – Portland, Oregon : USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. - 134 p.
17. *McGarigal K., Cushman S. A.* Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation studies [Текст] / K. McGarigal, S. A. Cushman // Ecological Applications. - 2002. - Iss. 12 (2). - P. 335-345.
18. *Mkrtchian A., Svidzinska D.* Modeling the location of natural cold-limited treeline and alpine meadow habitats in the Ukrainian Carpathians [Текст] / A. Mkrtchian, D. Svidzinska // Kruhlov I., Prots B. (eds) Local responses to global challenges; Proceedings of Forum Carpathicum 2014. – Lviv: Ukrayinskyy Bestseller. – P. 96-102.
19. *Riley S. J., De Gloria S. D., Elliot R. A.* Terrain ruggedness index (TRI) that quantifies topographic heterogeneity [Текст] / S. J. Riley, S. D. De Gloria, R. A. Elliot // Intermountain Journal of Science. - 1999. - Iss. 5 (1-4). - P. 23-27.
20. *Verburg P. H., Soepboer W., Veldkamp A., Limpiada R., Espaldon V., Mastura S. S.* Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model [Текст] / P. H. Verburg, W. Soepboer, A. Veldkamp [та ін.] // Environmental Management. - 2002. - Iss. 30 (3). - P. 391-405.
21. *Woodroffe R., Ginsberg J. R.* Edge effects and the extinction of populations inside protected areas [Текст] / R. Woodroffe, J. R. Ginsberg // Science. - 2002. - Iss. 280. - P. 2126-2128.

REFERENCES

1. Boreiko, V. Ye., Brynykh, V. A., Parnikoza, I. Yu. (2015), *Zapovednost (passivnaya okhrana prirody). Teoriya i praktika* [Nature conservation (passive nature protection). Theory and practice], Kyiv: KEKT, 453 p.
2. Kruhlov, I., Kuemmerle, T., Chaskovskyy, O., Knorn, J., Radeloff, V.C., Hostert, P. (2013), *Dynamika lisyystosti Ukrayinskykh Karpat protyagom 1988–2007 rokiv: geoekologichniy analiz zasobamy geomatyky* [Dynamics of forest cover of Ukrainian Carpathians during 1988–2007: geoeological analysis by the methods of geomatics], Visnyk of Lviv University, Ser. Geogr., Vol. 46, pp. 218–233.
3. Furdychko, O. I. (2002), *Karpaty ki lisy: problemy ekologichnoyi bezpeky i stalogo rozvytku* [Carpathian forests: the problems of ecological security and sustainable development], Lviv: Biblios, 192 p.
4. Afifi, A. A., Clark, V. (1998), *Computer aided multivariate analysis*, London: Chapman Hall, 455 p.
5. Baumann, M., Kuemmerle, T., Elbakidze, M., Ozdogan, M., Radeloff, V. C., Keuler, N. S., Prishchepov, A. V., Kruhlov, I. (2011), *Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine*, Land Use Policy, vol. 28, pp. 552–562.
6. Chevan, A. Sutherland, M. (1991), *Hierarchical partitioning*, The American Statistician, vol. 45, pp. 90–96.
7. Civco, D. L. (1989), *Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 55, No. 9, pp. 1303–1309.
8. Cohen, W. B., Goward, S. N. (2004), *Landsat's role in ecological applications of remote sensing*, BioScience, vol. 54, No. 6, pp. 535–545.
9. Congedo, L., Munafò, M., Macchi, S. (2013), *Investigating the relationship between land cover and vulnerability to climate change in Dar es Salaam*, Working Paper, Rome: Sapienza University, 48 p.
10. "Dead wood – living forests. WWF Report – October 2004" Available at: www.assets.panda.org/downloads/deadwoodwithnotes.pdf. [Accessed 15 November 2015].
11. Debinski, D. M., Holt, R. D. (2000), *A survey and overview of habitat fragmentation experiments* Conservation Biology, vol. 14, pp. 342–355.
12. Kolb, M., Mas, J.-F., Galicia, L. (2013), *Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico*, International Journal of Geographical Information Science, vol. 27, No. 9, pp. 1804–1827.
13. Kuemmerle, T., Chaskovskyy, O., Knorn, J., Radeloff, V. C., Kruhlov, I., Keeton, W. ., Hostert, P. (2009), *Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007*, Remote Sensing of Environment, vol. 113, pp. 1194–1207.
14. Kuemmerle, T., Hostert, P., Radeloff, V. C., derLinden, S., Perzanowski, K., Kruhlov, I. (2008), *Cross-border comparison of post-socialist farmland abandonment in the Carpathians*, Ecosystems, vol. 11, pp. 614–628.
15. Masek, J. G., Vermote, E. F., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F. G., Huemmrich, F., Gao, F., Kutler, J., Lim, T. K. (2006), *A Landsat surface reflectance data set for North America, 1990-2000*, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 3, pp. 68–72.
16. McGarigal, K., Marks, B. J. (1995), *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351*, USDA Forest Service, Portland, Oregon: Pacific Northwest Research Station, 134 p.
17. McGarigal, K., Cushman, S. A. (2002), *Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation studies*, Ecological Applications, vol. 12, No.2, pp. 335–345.
18. Mkrтчian A., Svidzinska D. (2014), *Modeling the location of natural cold-limited treeline and alpine meadow habitats in the Ukrainian Carpathians*, Proceedings of Forum Carpaticum 2014 (Ukraine, Lviv, September 16-18, 2014) (eds. Kruhlov, I., Prots, B.), Lviv: Ukrayinskyy Bestseller, pp. 96–102.
19. Riley, S. J., De Gloria, S. D., Elliot, R. (1999), *A Terrain ruggedness index (TRI) that quantifies topographic heterogeneity*, Intermountain Journal of Science, vol. 5, pp. 23–27.
20. Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpitada, R., Espaldon, V., Mastura, S. S. (2002), *Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model*, Environmental Management, vol. 30, No. 3, pp. 391–405.
21. Woodroffe, R., Ginsberg, J. R. (1998), *Edge effects and the extinction of populations inside protected areas*, Science, vol. 280, pp. 2126–2128.

Надійшла 18.11.2015

А. С. Мкртчян¹, канд. геогр. наук, доцент

Д. В. Свидзинская², канд. геогр. наук, доцент

¹Львовський національний університет імени Івана Франка;

²Київський національний університет імени Тараса Шевченка,
ул. Володимира Великого 63/371, Львів, 79053, Україна
alemkrt@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА БАСЕЙНА Р. ЧЕРНАЯ ТИСА И ЕГО ФАКТОРОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОСМОСНИМКОВ

Резюме

В статье рассматриваются методика и результаты исследования изменений наземного покрытия бассейна Черной Тисы путем классификации космоснимков Landsat с использованием модуля полуавтоматической классификации для QGIS. Проанализированы изменения, имевшие место на протяжении периодов 1989 – 1998 и 1998 – 2009 гг. С помощью методов множественной регрессии и иерархического расчленения исследовано влияние ряда факторов на трансформацию наземного покрова. Выявленные закономерности и тенденции имеют значение для ландшафтного планирования и организации природоохранной деятельности.

Ключевые слова: наземный покров, классификация космоснимков, Черная Тиса, Landsat, QGIS, фрагментация среды обитания.

A. Mkrtchian¹, PhD, Assoc. Prof.

D. Svidzinska², PhD, Assoc. Prof.

¹ Ivan Franko National University of Lviv;

² Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Vol. Velykoho St., Lviv 79053, Ukraine
alemkrt@gmail.com

THE STUDY OF LAND COVER CHANGES IN BLACK TISZA RIVER BASIN AND ITS FACTORS BASED ON THE ANALYSIS OF SPATIAL IMAGERY

Abstract

The purpose. of the study was to reveal the principal land cover changes in the study area in Ukrainian Carpathians during last several decades, to analyse their spatial pattern and to reveal their main factors.

Data & Methods. The Black Tisza river basin (total area 567.72 km²) was chosen as a study area. The data used in the study included processed Landsat 5 TM imagery for 1989, 1998 and 2009, SRTM DEM, and OpenStreetMap vector data. Semi-Automatic Classification Plugin for QGIS has been used to single out land cover classes, while R glm() function and hierarchical partitioning package have been applied for analysing relationships between land cover transitions and its supposed factors.

Results. The study revealed that the total forested area has decreased substantially in 1989–1998 period and has stabilized thereafter. The main factors influencing the forests disappearance have differed substantially between two periods: before 1998 this happened mainly on steep slopes of lower locations, while after 1998 the proximity to existing settlements has become the most significant predictive spatial variable of forest disappearance. The main variable spatially connected to the restoration of forests for both periods has been the proximity to existing forest patches, while for the second period there have also been signs of the afforestation on steep slopes. The widespread disappearance of alpine and subalpine vegetation communities, which in this area are located near the low limit of their habitat, have been observed after 1998. Another disturbing observation is the continued loss of core forest habitats and the increase in fragmentation of forest patches, as was revealed by analysing the changes in a set of landscape indices.

Keywords: land cover, image classification, Black Tisza, Landsat, QGIS, habitat fragmentation.