

УДК 528.92

DOI: 10.18372/2310-5461.36.12235

Зацерковний В. І.

д-р техн. наук, доцент
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
orcid.org/0000-0003-2346-9496
e-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com

Оберемок Н. В.

канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка
orcid.org/0000-0002-7230-8149
e-mail: oberemokn@gmail.com

Ягорлицька К. П.

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка
e-mail: yagorlitskayaksenia@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГІС І ДЗЗ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ЦЕНОЗІВ

Вступ

Україна має великі за своїми масштабами і економічним значенням природні ресурси, невід'ємною складовою яких є ліси. Ліси займають більш як 15,7 % території України (9,58 млн га) і розташовані головним чином на півночі (Полісся) та заході (Карпати) країни. З точки зору господарського використання, ліси є насамперед джерелом деревини й іншої сировини, харчових і кормових продуктів, а також місцем мешкання корисних тварин і рослин. Ліси впливають на клімат, атмосферу, водні об'єкти, зменшують різкість коливань температури і вологості, охороняють ґрунти від водної і вітрової ерозії. Вони відіграють провідну роль у багатьох екологічних процесах, зокрема у підтримці глобального використання лісів значною мірою залежить не тільки успішний розвиток господарства будь-якої балансу вуглецю, біологічного розмаїття, регулювання поверхневого стоку тощо [1].

Сьогодні значення лісів не обмежується галузевими чи регіональними масштабами, а має загальнонаціональний та міжнародний вимір.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значний вклад у розвиток напряму аналізу стану лісів внесли вчені Абросімов А. В., Архангельська Ю. М., Анпілова Є. С., Брагинський Л. П., Боголюбов В. М., Бойко М. М., Варламов Є. М., Волошкіна О. С., Генсірук, В. І., Герасимчук З. В., Готинян В. С., Гош С. К., Данилишин Б. М., Дворкін Б. А., Дяченко, С. А. Іщук О. О., Красовський Г. Я., Крилов А. М.,

Лебединський Ю. П., Левківський С. С., Лаврик В. І., Макаровський Є. Л., Осадчий В. І., Пестова І. О., Попов М. О., Сахаєв В. Г., Соболев А. А., Станкевич С. А., Степанов В. М., Теліженко О. М., Трофимчук О. М., Філософ Р. С., Чандра А. М., Хвесик М. А., Яцик А. С., Cloke P. J., Daly H. E., Grigg N. S. та ін. Проте, визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба відзначити, що проблема застосування технологій ГІС і ДЗЗ в систему моніторингу лісів ще далека від свого завершення і потребує глибокого системного опрацювання.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Сучасна система моніторингу лісової галузі в Україні не відповідає загальноєвропейським вимогам, оскільки визначаються не всі обов'язкові показники моніторингу лісів, переважають оцірні оцінки, не збирається інформація щодо рівня забруднення лісів екзогенними речовинами тощо.

Матеріали дистанційного зондування Землі (МДЗ) є ефективним засобом аналізу стану лісів. Глобальні архіви даних, які до того ж значною мірою є відкритими, дають унікальну можливість моніторингу лісів практично для всієї території України.

До основних завдань, що розв'язуються методами ДЗЗ у лісовому господарстві відносять:

- картографування лісового фонду;
- виявлення, контроль і моніторинг незаконних рубок лісу;
- визначення порідного складу лісів;

– ранжирування лісів на категорії за віком, запасом деревини, висоті деревостану, біологічній продуктивності;

– дослідження і картографування негативних процесів, що впливають на лісові масиви: вплив шкідників і хвороб, висушування або перезволоження лісів, що спричиняють їх деградацію і загибель;

– дослідження природних умов, що перешкоджають активній лісгосподарській діяльності (виявлення пласких низьких заболочених ділянок, безстічних улоговин, різких перегинів рельєфу тощо) із застосуванням цифрових моделей рельєфу.

Проте методика виявлення уражених шкідниками ділянок лісу залишається недостатньо розробленою. Стандартно, для виявлення осередків лісу, уражених шкідниками використовуються як візуальні, так і автоматизовані методи дешифрування космічних знімків, які базуються на проведенні математичних операцій з растрами та їх класифікації.

Більшість дослідників, описуючи загальні закономірності подання об'єктів на знімку при візуальному дешифруванні аналізують варіанти спектрального синтезу, найбільш вдалі для виявлення досліджуваних об'єктів [3–6], а також акцентують увагу на закономірностях поглинання та відбиття випромінювання рослинністю в різних спектральних зонах [7]. Оскільки найбільш інформативними є космічні знімки у визначених кольорових комбінаціях, то саме дана методика найчастіше зустрічається у різних варіантах в більшості літературних джерел, присвячених даній темі.

Актуальність роботи полягає в тому, що дешифрування є процесом добування різноманітних інформаційних даних із фотозображень земної поверхні. При цьому здійснюється виявлення, розпізнавання об'єктів, визначення їх сутності, встановлення їх якісних і кількісних характеристик і закріплення результатів дослідження на знімку або карті умовними знаками.

Об'єкт дослідження — система моніторингу лісового господарства за допомогою технологій ДЗЗ.

Предмет дослідження — лісове господарство Житомирської області.

Метою роботи є оцінка можливості застосування ДЗЗ та ГІС на для моніторингу лісових ценозів на території України.

Виклад основного матеріалу

Загальна площа лісового фонду України складає 10,4 млн га, з них вкриті лісом землі — 9,6 млн га, із загальним запасом деревини 1,74 млрд м³, у тому числі стиглих і перестійних — 250 млн м³, що значно менше, ніж лісистість більшості розвинених країн світу (Угорщина — 18 %, Франція — 27,8 %, Румунія — 28,1 %, Польща — 28,7 %, Німеччина — 29 %, США — 32,7 %, Болгарія — 34,4 %). Запаси деревини в Україні становлять 1,3 млрд м³ [1].

Ліси на території України розташовані нерівномірно. Вони сконцентровані переважно на Поліссі та в Українських Карпатах. Нерівномірність розміщення лісових ресурсів є наслідком різноманітних природних умов, але більшою мірою — впливу господарської діяльності людини, яка призвела до їх знищення. Порівняно з середньоєвропейськими показниками в нашій державі рівень лісозабезпечення є одним з найнижчих — на одного мешканця припадає близько 0,2 га лісів (див. таблицю) [1].

Разом з Великою Британією, Нідерландами, Іспанією та Італією, Україна відноситься до лісодефіцитних країн, тому її політика в цій галузі спрямована головним чином на відновлення лісових ресурсів. Створена авторами карта лісистості території України (рис. 1) свідчить, що їх кількість значно нижча розрахунково-оптимального показника (20–22 %), необхідного для досягнення збалансованості між лісосировинними запасами, обсягами лісоспоживання і екологічними вимогами. Для досягнення такого рівня лісистості додатково потрібно створити близько 2,5 млн га нових лісових насаджень.

Показники лісозабезпеченості в Європі за даними [5]

Регіон	Загальна площа, тис. га	Площа лісів, тис. га	Лісистість, %	Площа лісів на 1 мешканця, га
Уся Європа	2 260 128	933 326	41,3	1,3
Північна Європа	112 329	52 538	46,8	2,8
Західна Європа	245 569	59 479	24,2	0,2
Східна Європа	1 902 230	821 309	43,2	2,4
Україна	60 350	9400	15,6	0,2

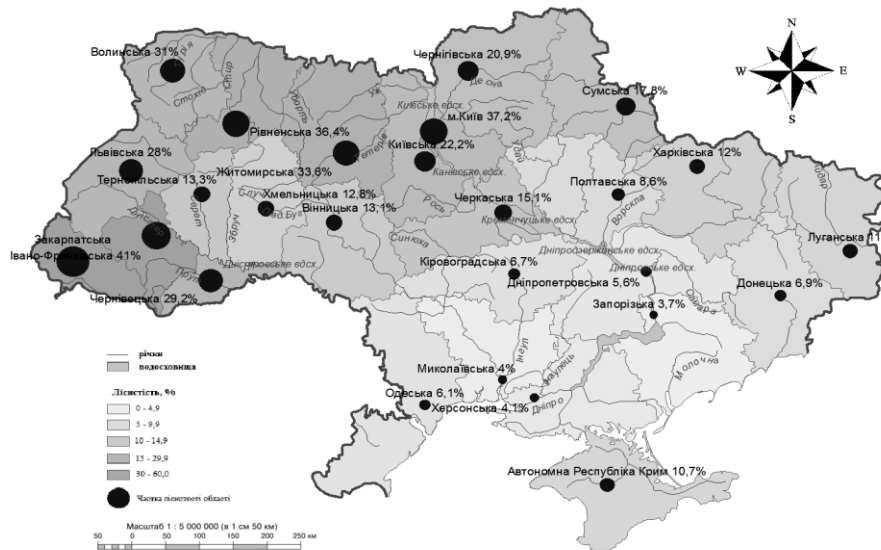


Рис. 1. Лісистість території України

До особливостей лісів та лісового господарства України відносять [6]:

- відносно низький середній рівень лісистості території країни;
- зростання лісів у різних природних зонах (Полісся, Лісостеп, Степ, Українські Карпати та гірський Крим), що містить істотні відмінності щодо лісорослинних умов, методів ведення лісового господарства, використання лісових ресурсів та корисних властивостей лісу;
- переважно екологічне значення лісів та висока їх частка (до 50 %) з режимом обмеженого лісокористування;
- високий відсоток заповідних лісів (16,1 %), який має стійку тенденцію до зростання;
- історично сформувалась ситуація закріплення лісів за численними постійними лісокористувачами (для ведення лісового господарства ліси надані в постійне користування підприємствам, установам і організаціям кількох десятків міністерств і відомств);
- значна площа лісів зростає у зоні радіоактивного забруднення;
- половина лісів України є штучно створеними і потребують посиленого догляду.

Сучасна система управління лісами була створена ще декілька десятиліть тому і до цього часу не зазнала суттєвих змін. Вона визначається вузькою спрямованістю на розв'язання господарських задач.

Так, зокрема, бракує інформації щодо об'єктів природно-заповідного фонду, рекреаційних ресурсів галузі, об'єктів наукових досліджень, інформації щодо лісового моніторингу, відсутня інформація щодо депонування парникових газів та зв'язування вуглецю лісами України тощо.

Цю обмеженість успадковують й інформаційні системи, що використовують або розроблюють у галузі. Картографічні матеріали є схематичними і не мають безпосереднього зв'язку ні з топографічною ситуацією, ні з даними землеустрою.

Діюча інформаційна база лісовпорядкування нездатна оперативно надавати інформацію про координати, площі, межі водозбірних басейнів, населених пунктів, характеристики суміжних користувачів, об'єкти інших галузей господарства. Але екологічні проблеми і надзвичайні ситуації поширюються, незважаючи на межі лісових земель, і впливають не лише на лісове господарство. Труднощі виникають при вирішенні нестандартних завдань, зокрема, пов'язаних з екологічними проблемами і надзвичайними ситуаціями. Не опрацьована єдина стратегія комп'ютеризації галузі, наслідком чого є відносно невисокий рівень і різномірність автоматизованих систем, що використовуються в окремих підприємствах. Виникає проблема обміну даними в електронному вигляді у межах системи управління лісами. Протягом останніх років спостерігається значне збільшення обсягів всихання лісів. Однією з причин погіршення стану лісів є розбалансованість їхньої вікової структури. В Україні вже майже не лишилось лісів, які б росли без втручання людини. Ліси старіють і відмирають, а якщо вони є чистими за складом та однолітковими, то ці процеси відбуваються одночасно і масштабно. Більш стійкими є різновікові та мішані ліси. Активізація патологічних процесів відбувається у зв'язку з кліматичними флуктуаціями, зокрема суттєвим підвищенням температур у ве-

гетаційний період останнього десятиліття та посухами.

Щорічно всихає майже вісім тис. га ялиників та близько три тис. га соснових та дубових деревостанів. Подібні процеси відбуваються й з ясенном, березою, кленом. У розумінні причин появи та розвитку негативних процесів у лісах України необхідно перш за все прослідкувати їхню динаміку в різних регіонах України в розрізі біологічних особливостей лісових порід, екології та клімату, умов місцезростання та змін, що зазнали деревостани внаслідок антропогенного та кліматичного впливу тощо.

На сьогодні розроблений ряд методів використання матеріалів ДЗЗ для вияву змін в лісах, у тому числі, у результаті вирубок, в основі яких лежить знання особливостей спектрального відбиття різними компонентами лісових екосистем, а також зв'язків між типами трансформацій лісового покриву і змінами їх спектрально-відбитих властивостей [7].

Перевагами космічних методів дослідження земної поверхні є масштабність огляду, можливість отримання глобальної і локальної інформації про природні та господарські об'єкти, регулярність спостереження Землі як системи для кращого розуміння глобальних процесів, прогнозування та мінімізації несприятливих наслідків природних і техногенних явищ та катастроф. Висока оперативність та можливість роботи з інформацією в реальному масштабі часу дозволяють розв'язувати особливо актуальні на тепер задачі моніторингу. Близько 80 % індикаторів стану довкілля можуть визначатися за допомогою інформації ДЗЗ.

Житомирська область займає провідне місце в Україні за запасами лісових ресурсів. Ліс складає третину території, з них хвойні породи — 75 %. Проте до численних незаконних вирубок лісових масивів в промислових масштабах за останні роки додався ще один знищувач лісу — комахи.

Глобальні зміни клімату, підвищення температур та зменшення опадів провокують розвиток шкідників, що найбільш поширені в монохвойних лісах.

На початок 2016 р. площа зареєстрованих уражених ділянок на території Житомирської області склала 25,6 тис. га.

Хімічна обробка на уражених ділянках не ефективна і, на сьогодні, єдиний метод боротьби — санітарні рубки, які є катастрофічними в даних масштабах. Традиційний підхід до еколого-економічної оцінки уражень лісу, який проводиться в даний час на експертному рівні, коли вже відомі розміри та положення проблемних лісових масивів не орієнтований на своєчасне оперативне визначення вогнищ уражень, їх масштабів і оцінки можливих наслідків. Тому такий підхід не дозволяє приймати своєчасні рішення в управлінні діяльністю лісоохоронних служб. Доцільність залучення технологій геоінформаційних систем [2] та МДЗ для виявлення уражених ділянок лісу полягає в високому ступені оперативності моніторингу та великою площею охоплення території, що є найбільш важливим для території лісових регіонів.

Матеріали і методи первинної обробки

Для вивчення можливості застосування матеріалів середньої просторової розрізненості для виявлення вогнищ уражених ділянок лісу на прикладі Житомирського соснового бору було обрано архіви супутникових мультиспектральних даних Landsat-8 та Sentinel-2. Загалом, для аналізу довгочасних змін на території дослідження доцільне використання тільки знімків Landsat-8, які наявні в вільному доступі для території дослідження починаючи з 2013 р.. Знімки Sentinel-2 відрізняються більш густою сіткою спостереження, проте наявні лише в період 2016–2017 рр., відповідно вони можуть бути використані для порівняння і уточнення результатів дослідження, проведених за матеріалами Landsat-8. Знімки, що використані в дослідженні, надані оператором супутникової системи Landsat — геологічною службою США (USGS) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). У процесі роботи були проаналізовані багатоспектральні знімки Житомирської агломерації, отримані супутниковими системами в період з 2013 по 2017 рр. Більше 40 з яких (рис. 2), відповідають умовам дослідження — фенологічні фази з максимальною продуктивністю, допустимий відсоток покриття знімка хмарами, — були відібрані для подальшого аналізу.

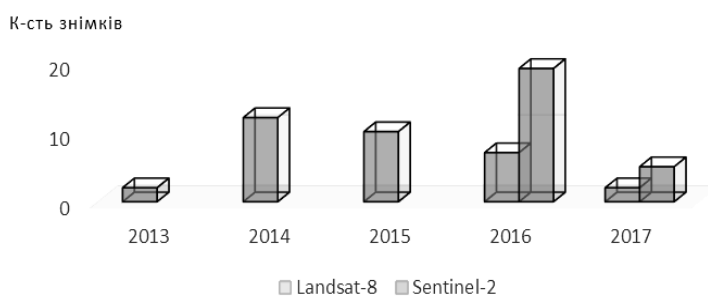


Рис. 2. Розподіл відібраних для дослідження матеріалів Landsat-8

та Sentinel-2 у часі в період з 2013 до 2017 рр.

Первинна обробка даних мала на меті атмосферну (радіометричну) корекцію (переведення безрозмірних величин значень пікселів багатоканального зображення у значення альбедо та геометричну корекцію даних (ортотрансформування з урахуванням цифрової моделі рельєфу місцевості SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)).

Інтеграція підходів візуального дешифрування та індексних зображень для виявлення уражених ділянок лісу Житомирської області. Для візуального дешифрування уражених ділянок лісу за прямими та непрямыми ознаками використовувались синтез природних кольорів, у якому здорова рослинність виглядає зеленою, прибрані поля — світлими, нездорова рослинність — коричневою і жовтою, а також стандартна композиція псевдокольорів, у якій в цілому насичені відтінки червоного є індикаторами здорової рослинності, у той час як більш світлі, або блакитні відтінки характеризують трав'янисту або уражену рослинність.

Реалізація візуального моніторингу ділянки лісу з залученням кольірних композитів для виявлення уражених ділянок показана на рис. 3.

У натуральній кольірній передачі знімка Landsat-8 за 2014 рік спостерігається здорова рослинність, проте через рік на тому самому масиві з залученням аналогічних матеріалів ДЗЗ помітне зниження життєздатності лісу, і зона ураження помітно збільшується і прогресує у 2016 р. Зміни краще прослідковується на матеріалах Sentinel-2 на 02.09.2016 р. (рис. 4).

Візуальне дешифрування надає можливість отримання швидких результатів і не потребує залучення наземних еталонів. Проте суттєвими недоліками є складність вирішення проблеми пропуску ділянок, особливо невеликих, і нестабільність результатів дешифрування, отриманих різними виконавцями.

Візуальний аналіз отриманих композитів може бути підтвердженим при залученні індексу NDVI (рис. 5).

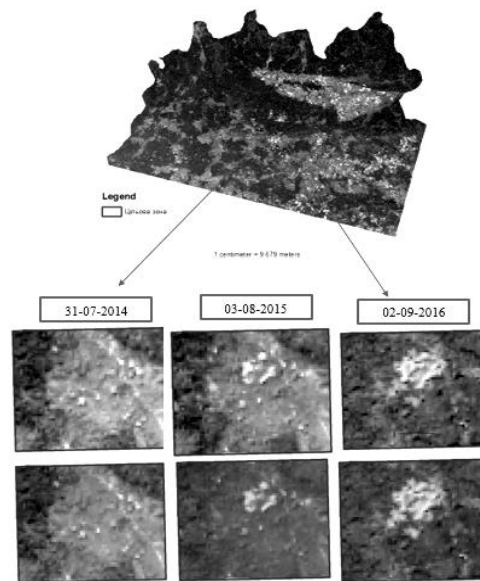


Рис. 3. Моніторинг ділянки соснового лісу в Житомирській області з залученням кольірних композитів з виявленням прогресуючого ураження



Рис. 4. Цільова зона на знімку Sentinel-2 на 02.09.2016 р. у стандартних (а) та псевдокольорах (б)

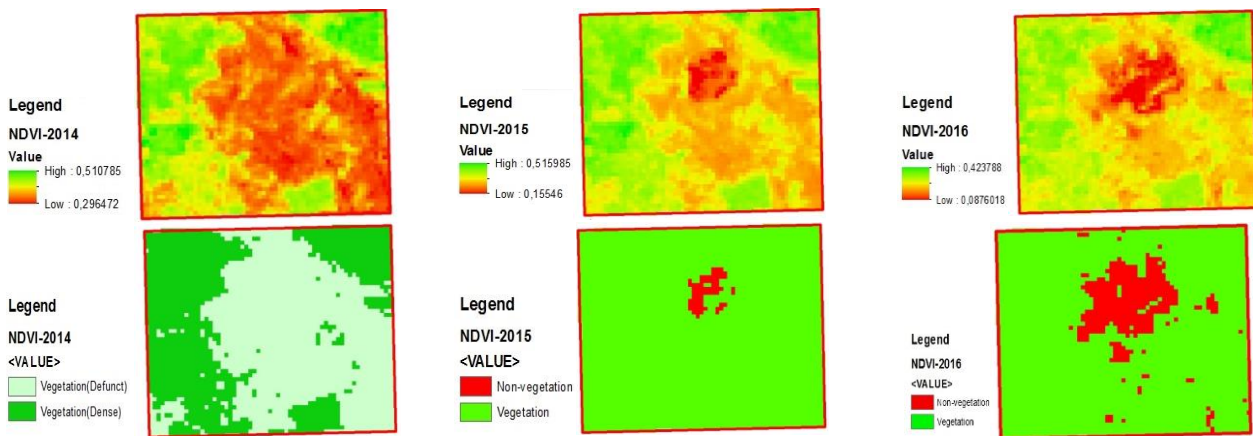


Рис. 5. Індексні зображення NDVI з виділенням на їх основі маски здорової та суттєво ураженої рослинності на період 2014–2016 рр.

Граничне значення NDVI для здорової рослинності 0,25 [7].

Автоматизована класифікація даних дистанційного зондування методом спектрального кута з метою виділення класу уражених ділянок лісу

При класифікації способом спектрального кута були створені еталонні ділянки на основі попередніх візуальних спостережень. Усі пікселі знімка, у тому числі і еталонні, розглядалися як вектори в n -вимірному просторі спектральних ознак.

Якщо кут між еталонним вектором і вектором пікселя, який зазнавав класифікації, менше максимального, то цей піксель відноситься до цільового класу, якщо більше — не відноситься. При цьому спектральний кут вираховувався за формулою:

$$\theta(x, y) = \arccos \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\left(\sum_{i=1}^n X_i^2\right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^n Y_i^2\right)^{1/2}},$$

де X — вектор спектральної сигнатури пікселя знімку; Y — вектор спектральної сигнатури еталонної області; n — кількість спектрів зображення.

Значення спектральних кутів з використанням наведеної формули отримуються в радіанах. Для переведення значення кутів із радіан в градуси використовується співвідношення

$$\theta^\circ(x, y) = \frac{\theta^{\text{рад}} \cdot 180}{\pi}.$$

Вибір даного методу класифікації пояснюється тим, що потрібно провести класифікацію для об'єктів, які мають схожі значення спектральної яскравості. Остаточні результати класифікації з виділенням уражених ділянок лісу на прикладі Житомирської області наведені на рис. 6.

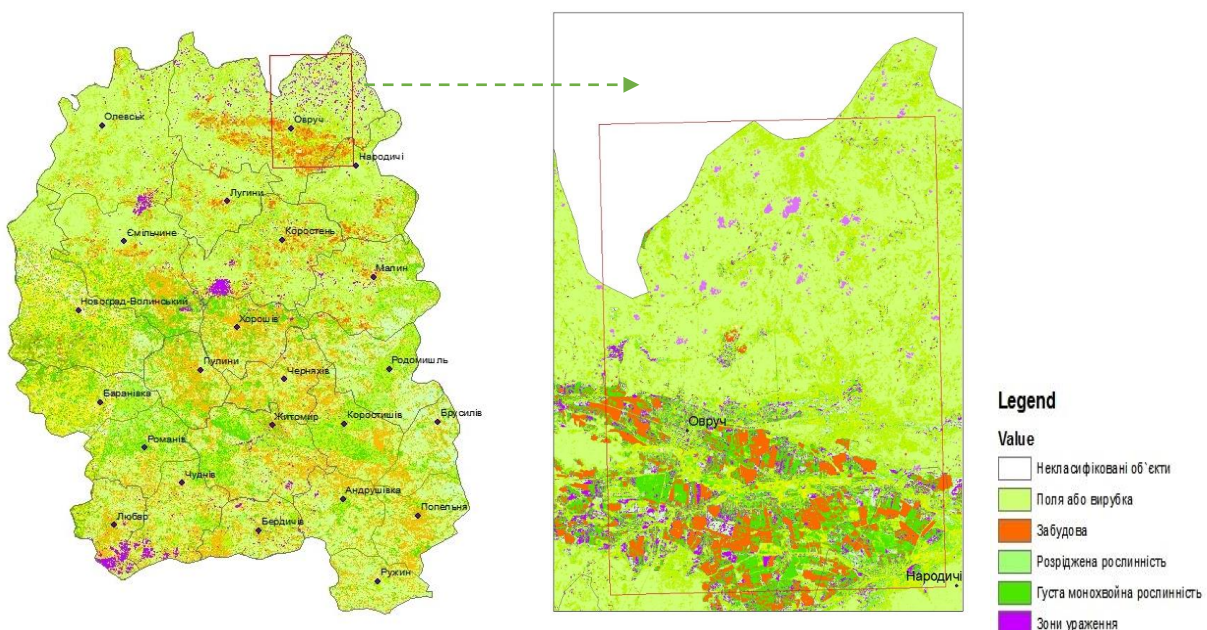


Рис. 6. Результати класифікації методом спектрального кута з використанням знімків Landsat-8 на 2016 р. на території Житомирської області з виділенням уражених ділянок рослинного покриття

За результатами проведеного дослідження виявлено, що в зоні дослідження (на 2016 р.) близько 231 км² уражених ділянок лісу, при цьому максимальна концентрація пікселів класу уражених зон припадає на Овруцький, Коростенський, Хорошівський, Любарський та Малинський райони.

Висновки

Розрахувавши матрицю помилок, загальна точність класифікації методом спектрального кута з використанням знімків Landsat-8 на 2016 р. на території Житомирської області з виділенням уражених ділянок рослинного покриву на основі попередніх візуальних досліджень дорівнює 76,4 %. Помилки класифікації можуть бути пов'язані з недостатньою просторовою розрізненістю знімків, а також відсутністю даних наземних спостережень.

Для поліпшення точності класифікації за відсутності результатів наземного моніторингу можуть бути використані або збільшення розміру вибірок, або зменшення кількості ознак. Перший веде до збільшення трудомісткості процедур і до того ж не завжди можливий при розв'язанні багатьох прикладних задач. Другий шлях є більш практичним, проте при невдалому виборі ознак може призвести до втрати інформації, яка визначає відмінність класів. Таким чином, при аналізі мультиспектральних зображень з класами з

близькими середніми значеннями класів і з високим внутрішньокласовим розкидом доцільно використовувати невелику кількість найбільш інформативних ознак.

ЛІТЕРАТУРА

1. Генсірук С. А. Ліси України / АН України. РПС України. МО України. Львів. лісотехн. ін-т; відп. ред. П. С. Погребняк, В. І. Чопик. — К. : Наук. думка, 1992. — 408 с.
2. Зацерковний В. І., Тішаєв І. В., Віршило І. В., Демидов В. К. Геоінформаційні системи в науках про Землю. — Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016. — 510 с;
3. Жуков М. Н. Математична статистика та обробка геологічних даних: підручник. — К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. — 508 с.
4. Станкевич С. А. Дистанційне оцінювання кількості рослинності в міських агломераціях / С. А. Станкевич, І. О. Пестова // Матеріали науково-практичної конференції «Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій». — К. : ІНТ НАУ, 2013.
5. Fox L. Essential Earth imaging for GIS. California, 2015–115 p.
http://dkg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921
6. Mockel T. Hyperspectral and multispectral remote sensing for mapping grassland vegetation: PhD diss. Lund University, 2015. 41 p.

Зацерковний В. І., Оберемок Н. В., Ягорлицька К. П. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГІС І ДЗЗ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ЦЕНОЗІВ

Розглянуто проблеми лісової галузі. Акцентовано увагу на потерпання території лісів України від масштабного антропогенного тиску. Екологічна оцінка лісових екосистем дозволяє оцінити стан сучасного лісорозведення і відтворення захисних лісових ресурсів, їх охорону та досягнення реалізації протиерозійних заходів. Отримана інформація про лісові екосистеми може бути використана для розробки екологічних програм із питань забезпечення стійкого розвитку соціально-економічних систем на локальному рівні.

Ключові слова: матеріали дистанційного зондування (МДЗ), геоінформаційні системи (ГІС) і технології (ГІТ), лісові пожежі, моніторинг.

Зацерковний В. И., Оберемок Н. В., Ягорлицкая К. П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГИС И ДЗЗ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ЦЕНЗОРОВ

Рассмотрены проблемы лесной отрасли. Акцентировано внимание на проблемах территории лесов Украины от масштабного антропогенного давления. Экологическая оценка лесных экосистем позволяет оценить состояние современного лесоразведения и воспроизведения защитных лесных ресурсов, их охрану и достижения реализации противоэрозийных мероприятий. Полученная информация о лесных экосистемах может быть использована для разработки экологических программ по вопросам обеспечения устойчивого развития социально-экономических систем на локальном уровне.

Ключевые слова: материалы дистанционного зондирования (МДЗ), геоинформационные системы (ГИС) и технологии (ГИТ), лесные пожары, мониторинг.

Zatserkovnyi V., Oberemok N., Iagorlytska K.

APPLICATION OF GIS AND REDUCTION TECHNOLOGIES FOR MONITORING PROBLEMS OF FOREST VALUES

The forest sphere problems (issues) are considered. There is a focus made on the fact that forest territories of Ukraine suffer from massive human pressure. The main reasons for territories reduction is an impact of poor weather conditions, forest diseases, vermin damage, unbalanced system of forest management, abuse in the sphere of forest usage and forest fires. Despite of constant execution of prevention and precaution fire protection measures, huge forest areas suffer from fires, and this becomes a heavy load for country's budgets. Apart from direct detection of fires, the evaluation of their strength and development forecast, the critical objective (task) is to monitor the parameters of the fire: area, framework perimeter and radiation power of the fire, determination of losses, quantitative estimation of vegetation change as well. The possibility of determination of areas that burned out during big forest fires allow to conduct inventory of forests condition after fires.

An important economic and strategic task is the investigation of dynamic changes and condition of the forest. High informative value of observations from artificial satellites of earth provides a possibility to quickly and impartially evaluate stocks of forest resources and investigate changes which happened to them: fires appearance, losses estimations, the process of forest restoration on burned areas and logged areas, adjustment of forest damage estimations due to diseases and vermin, fires, detection of logged areas with further task to control them and their legitimacy, the inventory problem solving, evaluation of forest coverage of the territories, mapping of areas covered with forest and forest type structure. This slows to timely take measures in order to use forest resources efficiently and to prevent losses.

Keywords: materials of remote sensing (MRS), geo-information systems (GISs) and technologies (GITs), forest fires, monitoring.

Стаття надійшла до редакції 29.11.2017 р.

Прийнято до друку 30.11.2017 р.

Рецензент — д-р геол. наук, проф. Карпенко О. М.