

УДК 528.92

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ В ЗАВДАННЯХ МОНІТОРИНГУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ І КІЛЬКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ РОСЛИННОСТІ

В. І. Зацерковний, д-р техн. наук,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
vitallii.zatsekovnyi@gmail.com

І. В. Тішаєв, канд. фіз.-мат. наук,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ivantishaev@gmail.com

О. І. Шищенко
Національний авіаційний університет

Розглянуто проблеми лісової галузі. Акцентовано увагу на потерпання території лісів України від масштабного антропогенного тиску. Основними чинниками зменшення площ є вплив несприятливих погодних умов, хвороб лісу, пошкодження шкідниками, незбалансованість системи лісного господарства, зловживання у сфері їх використання та лісові пожежі. Незважаючи на постійне здійснення профілактичних та попереджувальних протипожежних заходів, від пожеж потерпають великі площі лісів, що лягають важким тягарем на бюджет країни. Крім безпосереднього виявлення пожеж, оцінки їх потужності і прогнозу розвитку, актуальною задачею є моніторинг параметрів пожеж: площі, периметру кромки і радіаційної потужності пожежі, визначення збитків, кількісної оцінки змін рослинності тощо. Можливість визначення площ, вигорілих під час дії великих лісових пожеж, дозволяє проводити інвентаризацію післяпожежного стану лісів. Важливим завданням як економічного, так і стратегічного характеру є дослідження динамічних змін та стану лісів. Висока інформативність спостережень зі штучних супутників Землі дає можливість швидко і об'єктивно оцінювати запаси лісових ресурсів і досліджувати зміни, які в них відбулися: виникнення пожеж, оцінки збитків, ходу лісовідновлення на згарящих і вирубках, уточнення оцінок ушкоджень лісів хворобами і шкідниками, пожежами, виявлення виробок з метою подальшого контролю їх правомірності, розв'язок задач інвентаризації, оцінку лісистості територій, картографування покриття лісом площ і порідної структури лісів. Це дозволяє своєчасно вживати заходів щодо раціонального використання лісових ресурсів і запобігати збиткам.

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

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 allows 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.

Вступ

Україна має великі за своїми масштабами і економічним значенням природні ресурси, невід'ємною складовою яких є ліси, що сприяють розвитку економіки та поліпшенню стану навколишнього природного середовища.

Загальна площа лісового фонду України становить 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].

Рівень лісистості в нашій країні один із найнижчих з-поміж країн Європи, причина — надмірна інтенсивність експлуатації лісів,

низький рівень культури лісокористування тощо. Оптимальний рівень лісистості, науково обґрунтований для нашої держави (зважаючи на її географічне розміщення та кліматичні умови) і зафіксований у чинному законодавстві, має становити не менше ніж 20 % [2].

Зростання рівня антропогенного впливу на навколишнє середовище у сполученні з низькою ефективністю і роз'єднаністю природоохоронних заходів призвели за останні десятиліття до значного виснаження лісів, зниження загальної продуктивності їх ценозів, погіршення товарної структури лісосічного фонду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Значний внесок у розвиток напряму аналізу стану лісів внесли вчені А. В. Абросімов, Ю. М. Архангельська, Є. С. Анпілова, Л. П. Брагинський, В. М. Боголюбов, Є. М. Варламов, О. С. Волошкіна, З. В. Герасимчук, В. С. Готинян, Б. М. Данилишин, Б. А. Дворкін, О. О. Іщук, Г. Я. Красовський, Ю. П. Лебединський, С. С. Левківський, В. І. Лаврик, Є. Л. Макаровський, В. І. Осадчий, М. О. Попов, В. Г. Сахаєв, В. М. Степанов, О. М. Теліженко, О. М. Трофимчук, М. А. Хвесик, А. С. Яцик, Р. J. Cloke, Н. E. Daly, N. S. Grigg та інші.

Проте, визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба відзначити, що проблема впровадження матеріалів дистанційного зондування (МДЗ) в систему моніторингу лісових пожеж ще далека від свого завершення і потребує глибокого системного опрацювання.

Постановка проблеми

Щорічні світові вирубки лісів досягли вже 13 млн га, а кількість лісових пожеж наближається до 200 тис., що приводить до втрат сотень тисяч гектарів лісу [3].

Зростаюча стурбованість світового співтовариства вирубкою лісів, втратами лісових запасів вуглецю, а також роллю лісів у зміні клімату призвела до того, що питання моніторингу стану лісів стало надзвичайно актуальною задачею.

З огляду на наведене вище, корпорація Google запустила он-лайн систему моніторингу лісів Global Forest Watch, яка дозволяє практично в режимі реального часу відслідковувати активні вирубки дерев по всьому світу

Виклад основного матеріалу дослідження

Використовуючи сервіси Google Maps і Google Earth, система зіставляє супутникові знімки світових лісів і виявляє зміни, зафіксовані в лісовому покриві планети (рис. 1).



Рис. 1. Моніторинг стану лісів у світі

За даними Мерілендського університету, в період з 2000 по 2012 рр. світ втратив понад 2 млн км² зеленого покриву. Разом з тим, за той же проміжок часу тільки 0,8 млн км² лісів було відновлено людиною або зросла сама [4].

До 80 % пожеж виникає через порушення заходів безпеки при поводженні з вогнем у місцях праці і відпочинку, а також у результаті використання в лісі несправної техніки.

На виникнення лісових пожеж впливають також кількість атмосферних опадів, температура повітря і його вологість. Поширення пожежі залежить від швидкості вітру і рельєфу місцевості.

За класифікацією І. С. Мелехова (1947) лісові пожежі поділяються на низові, верхові і підземні. Серед низових пожеж виділяють: підстильно-гумусні, надґрунтові, підлісно-чагарникові і валежно-пенькові. Верхові пожежі бувають вершинними, повальними і ствольовими. Низові і верхові пожежі додатково поділяють на побіжні і стійкі.

Прояв типів пожеж, головним чином визначається породним складом лісу і пірологічними особливостями лісових насаджень. Пожежна загроза лісів — це ймовірність виникнення, поширення і розвитку лісових пожеж. Класифікацію пожеж зазвичай проводять з урахуванням робіт, пов'язаних з їх локалізацією і гасінням. Виділяються: окремі, масові і суцільні пожежі, а також тління в завалах.

Пожежі, незалежно від причин їх виникнення, здійснюють глибокий вплив на ґрунтово-рослинний покрив, виробництво, землекористування, місцеву і регіональну економіку, а також серйозно впливають на забруднення атмосфери, здійснюючи викидання величезної кількості газів в атмосферу, що спричинює виникнення проблем зі здоров'ям у населення, глобальні зміни клімату.

З одного гектара в атмосферу надходить викид від 80 до 100 т димових частинок і 10–20 т

суміші газів: оксиду вуглецю (CO), оксиду азоту (NO), діоксиду азоту (NO₂) і аміаку (NH₃) [5]. Близько 40 % річної емісії парникових газів становлять продукти горіння лісів, що спричинює суттєве забруднення атмосферного повітря прилеглих територій, зниження кругообігу кисню, захисту від вітрових фронтів, ерозійних процесів, руйнування біогеоценозу.

Для розв'язання комплексного завдання реєстрації, відображення і прогнозування можливих напрямків і обсягів займання лісових угідь, необхідно сформулювати стратегію комплексного моніторингу із застосуванням матеріалів дистанційного зондування.

Необхідність здійснення регулярного моніторингу стану лісів зумовлена їх безперервною динамікою внаслідок впливу природних і антропогенних чинників (пожежі, вирубки, техногенні забруднення), масштаби, прояв яких істотно варіюються залежно від регіону.

Зокрема, ліси навколо мегаполісів потерпають від сильного антропогенного впливу, зумовленого близькістю до мегаполісів. Це виявляється через високий рівень забруднення атмосфери і ґрунтового покриву, зміни гідрологічного режиму при будівництві доріг і прокладенні комунікацій, вирубки лісів для наступної забудови території і незаконної вирубки для наживи, підвищеного рекреаційного навантаження, що найчастіше призводить до пожеж.

Для України актуальність питань моніторингу лісів не потребує доказів. Хаотичні вирубки лісових насаджень у західній Україні вже призвели до постійних паводків [6]. Негативні гідрологічні процеси підсилюються при суцільних вирубках, за рахунок збільшення поверхневого схилового стоку, розвитку ерозійних і зсувних процесів.

Суцільними вирубками, переважно в ялинових лісах, вирубується 60–70 %, у мішаних хвойних, букових і ялицевих лісах поступовими і вибірково рубається 30–40 % лісосічного фонду.

Вирубки, будучи одним з найбільш потужних антропогенних чинників впливу на ліси, спричиняють безліч наслідків екологічного характеру, що виявляються в зміні породно-вікової структури лісів, характеристиках циклу вуглецю, альbedo поверхні, гідрологічного режиму територій, умов мешкання лісової фауни, а також біологічного розмаїття наземних екосистем.

Незважаючи на те, що Україна не володіє значними лісовими масивами (рис. 2), проблеми, які постали перед світовою спільнотою в рамках захисту лісів, не можуть бути проігноровані і в нас [6].

Моніторинг лісів передбачений низкою законів та рішень Уряду України, зокрема Лісовим Ко-

дексом України (2006), Постановою Кабінету Міністрів України № 391 від 30 березня 1998 р., про затвердження «Положення про державну систему моніторингу довкілля», постановою Кабінету Міністрів України № 581 від 29 квітня 2002 р. про затвердження державної програми «Ліси України на 2002–2015 роки».

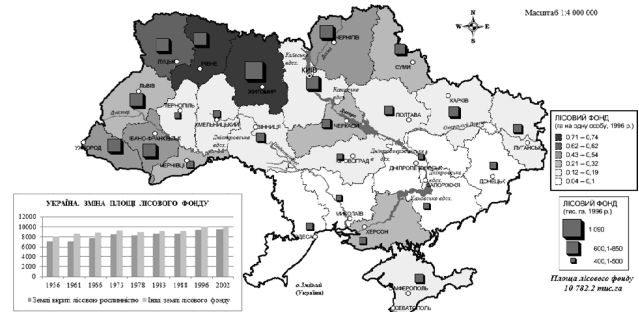


Рис. 2. Карта лісів України

Динаміка виникнення лісових пожеж представлена на рис. 3.

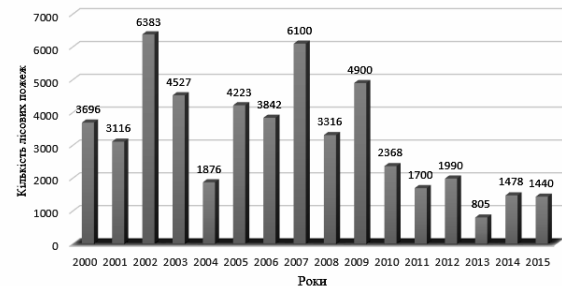


Рис. 3. Динаміка лісових пожеж в Україні за період 2000–2015 рр.

Пріоритетними напрямками програми проголошено:

- перевагу природоохоронного значення та необхідність раціонального використання лісових ресурсів;
- підвищення продуктивності та поліпшення породного складу лісових насаджень;
- підвищення стійкості лісових екосистем до негативних чинників, спричинених антропогенними порушеннями та глобальними змінами клімату;
- забезпечення охорони лісів від пожеж, зменшення їх кількості та мінімізацію наслідків, насамперед збереження природних екосистем та ресурсного потенціалу лісів.

Моніторинг лісів — це система спостережень, оцінки і прогнозу стану і динаміки лісового фонду для державного управління в галузі використання, охорони, захисту лісового фонду, відтворення лісів і підвищення їх екологічних функцій.

Важливою умовою підвищення ефективності управління лісовими ресурсами, ведення лісового господарства і лісокористування, боротьби з

несанкціонованими вирубкам, екологічними порушеннями є наявність достовірної інформації про лісовий фонд.

Для ефективного управління лісовими ресурсами необхідно володіти інформацією не тільки про поточні зміни в лісах, але й оцінювати їх динаміку в історичній ретроспективі.

Дані супутникових спостережень, зокрема, зображення високого просторового розрізнення з супутників серії Landsat є ефективним інструментом моніторингу вирубки лісів. Накопичені на сьогодні довгострокові архіви даних відкритого доступу відкривають можливість одержання ретроспективних вирубок для всієї території України.

Оцінка стану лісів є необхідною складовою їх моніторингу. Сучасний етап розвитку методології моніторингу лісів для формування стратегії раціонального лісокористування й захисту навколишнього середовища передбачає обов'язкове використання методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС) [2].

Ризик початку пожежі, головним чином, пов'язаний з діяльністю людини, в той час як боротьба з пожежею багато залежить від можливості доступу до неї транспортних засобів і людей. ГІС може забезпечити необхідною інформацією в обох випадках.

При поширенні пожежі потрібні відомості про стан рослинності (суха/волога); цю інформацію може надати МДЗ. Оцінка ризику розповсюдження пожежі дає важливу інформацію про першочергові завдання в боротьбі з пожежею на початковому етапі. Тому питанню впровадження ГІС та ДЗЗ в лісопожежній галузі потрібно приділяти значно більше уваги.

Використання МДЗ дозволяє охоплювати значні території, в тому числі і важкодоступні, отримувати різного роду інформацію про стан лісових масивів і розв'язувати низку завдань:

- отримувати інформацію для оцінки синоптичної ситуації;
- реєструвати зони з підозрою на лісові пожежі;
- детектувати пожежі і оцінювати їх динаміку;
- оцінювати площі, охоплені пожежею, підраховувати збитки;
- прокладати маршрути для гасіння пожеж.

Однак, у такого методу збору інформації є й свої недоліки. За сучасного розвитку технологій ДЗЗ можна ідентифікувати навіть малі осередки загоряння. Однак це можливо, якщо знати де її шукати.

Підвищення чутливості приладів можливе у разі зменшення смуги огляду (території спостереження). Розрізняючи в 250 м кожену точку можна переглядати два–три рази на добу, а при

деталізації до 15–20 м — один прилад зможе її спостерігати один раз на тиждень, за умови відсутності хмарності.

Зрозуміло, що такі затримки під час боротьби з лісовими пожежами неприйнятні, оскільки головний чинник успіху — це час. А забезпечення необхідної періодичності перегляду територій, критих лісом, потребує серйозних фінансових коштів.

Крім того, фіксація загорянь потребує зйомки не тільки в оптичному діапазоні.

Таким чином, у більшості випадків проведення регіонального моніторингу потребує високої детальності спостережень при забезпеченні їх регулярності, що зумовлює доцільність комбінованого використання матеріалів зондування з різних супутникових апаратів. При цьому, комбінації даних низького (наприклад, Terra/Aqua-MODIS) і середнього (наприклад, Landsat-OLI або Sentinel-2) просторового розрізнення є одним із шляхів оперативного одержання відомостей про кількісні і якісні показники стану лісів з високим рівнем точності по окремих територіальних одиницях або регіону загалом.

Технології дистанційного зондування надають можливість створення систем моніторингу лісів, включаючи визначення структури насаджень, виявлення крупномасштабних змін у лісах у результаті впливу пожеж, вирубок й інших збурювальних чинників, оцінку індикаторів стану лісової рослинності.

Лісові пожежі стають особливо небезпечними для довкілля та населення в зонах радіаційного забруднення викидами АЕС, при яких може значно зрости рівень забруднення сільськогосподарських земель та поверхневих вод суміжних областей. Негативне також і те, що певна кількість радіонуклідів з димом буде мігрувати на територію сусідніх держав.

Так, 26 квітня 2015 р. на південно-західній межі 10 км зони ЧАЕС у зоні з високим рівнем радіоактивного забруднення розпочалася рослинна пожежа, яка розвивалась протягом 27–30 квітня на перелогах із переходом на лісові масиви. Значна кількість лісових горючих матеріалів унаслідок захащення лісів сприяла швидкому зростанню інтенсивності та зони горіння. На прикладі цієї масштабної пожежі показано можливість залучення даних ДЗЗ для виявлення та оцінювання змін стану лісового покриву.

Визначення площі розповсюдження пожежі та спричинених нею наслідків здійснювалось за даними знімків Landsat 8 OLI, просторовою розрізненістю 30 м (рис. 4).

Для виявлення змін лісового покриву на враженій території, було використано два космічні

знімки: за рік до пожежі та влітку після неї. Ці знімки обиралися так, щоб рослинний покрив на них був представлений на піку вегетації (червень–липень) і не закритий хмарами.



Рис. 4. Контур рослинної пожежі у Чорнобильській зоні відчуження за космічним знімком Landsat 8 OLI, 29 квітня 2015 р. (комбінація каналів: 7,5,3)

Максимально наближеними до визначених умов виявилися: знімок, зроблений 31 липня 2014 р. та 18 липня 2015 р.

Знімки завантажено із загальнодоступного сервісу Геологічної служби США [7]. Обробка супутникових знімків та інтерпретація отриманих результатів виконувалась у програмному комплексі обробки даних ДЗЗ — ENVI 5.1.

Створення векторних шарів лісових масивів на дослідній території станом на 2014–2015 рр., а також лісів, уражених пожежами, їх розрахунок та порівняння виконувалось за допомогою програмного середовища ArcGIS 10.1.

Спочатку було виконано попереднє оброблення знімків, що має на меті підготовку отримуваних даних ДЗЗ до подальшого аналізу і

тематичної інтерпретації. Так, була проведена фрагментація знімків за територією дослідження та конвертація значень яскравості вихідного растрового зображення у показники випромінювання на сенсори (радіометричне калібрування).

Для кількісного оцінювання рослинного покриву залучено один з найбільш поширених вегетаційних спектральних індексів — нормалізований відносний індекс рослинності (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), який дає можливість оцінити наявність фотосинтетично активної біомаси на знімках. Його значення зростають із розвитком зеленої біомаси й зменшуються з її всиханням.

Значення NDVI розраховується за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

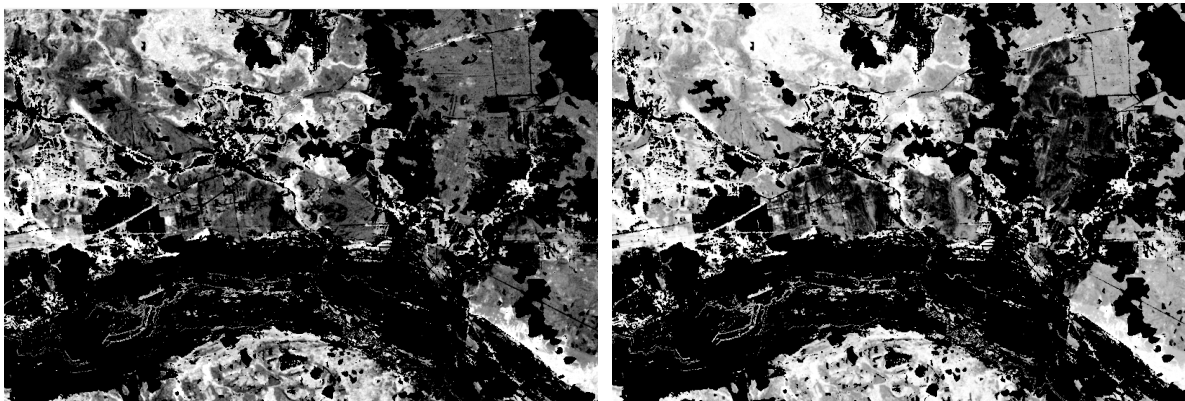
де NIR — відбиття в ближній інфрачервоній зоні спектра; RED — відбиття в червоній зоні спектра.

Для виокремлення на одержаних індексних зображеннях лісових масивів від решти фотосинтетично активної біомаси — трав'яного покриву перелогів, лук та боліт, попередньо було проведено класифікацію земних покривів за знімком 2014 р. (до вигорання).

Класифікація земних покривів була проведена методом опорних векторів (Supported Vector Machine, SVM). За результатами класифікації створено маску лісів, хвойних і листяних.

Оскільки, деякі частини знімка 2015 р. закриті хмарами, для забезпечення достовірного порівняння зображень NDVI 2014 і 2015 рр., у програмному середовищі ArcGIS 10.1 було створено маску хмар та їхніх тіней.

Так, на рис. 5, показано зображення індексу NDVI до та після пожежі з накладеними на них масками.



Індекс NDVI : ■ 0, ■ 0,01 - 0,56 ,
■ 0,561 - 0,61 , ■ 0,611 - 0,72 , ■ 0,721 - 0,79

Індекс NDVI : ■ 0, ■ 0,01 - 0,56 ,
■ 0,561 - 0,66 , ■ 0,661 - 0,77 , ■ 0,771 - 0,8

Рис. 5. Значення індексу NDVI за космічними знімками Landsat 8 OLI за 2014 та 2015 рр.

Чорним кольором замасковані земні покриви, які не належать до класу лісів та затінені хмарами. Значення індексу NDVI для пікселів інших класів дорівнює 0 і в подальших обчисленнях не враховувалось.

Для виявлення кількісних змін стану лісів було обчислено різницю між підготовленими зображеннями розподілу вегетаційного індексу за 2014 і 2015 рр.

Від'ємні значення свідчать про негативні зміни у лісовому покриві, величини цих значень характеризують ступінь пошкодження — від повного знищення внаслідок пожежі (високі

від'ємні значення) до незначного ураження або відтворення (низькі від'ємні значення).

Додатні значення вказують на позитивні зміни у лісовому покриві. Невисокі додатні значення, свідчать про збільшення фотосинтетично активної маси лісів за рахунок кращих умов для вегетації у 2015 р.

Ділянки зображення, вкриті масками або де зміни відсутні, мають значення що дорівнюють 0.

За результатами проведених досліджень створено тематичну карту кількісних змін стану лісової рослинності (рис. 6).

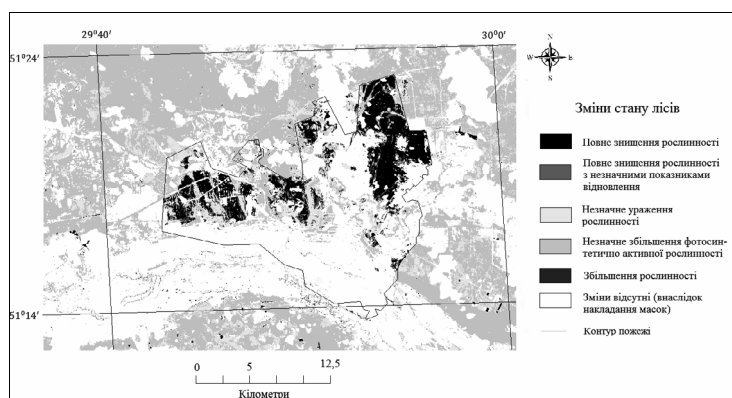


Рис. 6. Оцінка кількісних змін стану лісів

Висновки

Проведені роботи свідчать про можливість використання ДЗЗ для вирішення таких завдань, як оцінка площ лісів, що зазнали змін унаслідок пожеж. МДЗ і геоінформаційні технології є інструментарій, який дозволяє вирішити більшість завдань, що постають перед сучасною лісовою галуззю України.

Особливу увагу в подальших дослідженнях потрібно приділити калібруванню рослинності у вузьких спектральних діапазонах чистих кольорів.

Комплексне використання МДЗ різного просторового розрізнення і геоінформаційних технологій забезпечує можливість проведення регіонального моніторингу на регулярній основі.

Оцінку достовірності і точності проведених розрахунків за запропонованою моделлю потрібно здійснювати за результатами дешифрування таксаційних характеристик.

ЛІТЕРАТУРА

1. <http://refdb.ru/look/3251673-pall.html>
2. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: монографія* / [за ред. В. І. Лялько, М. О. Попова]. — К. : Наук. думка, 2006. — 360 с.
3. *Контроль состояния лесных ресурсов мира с помощью дистанционного измерения и инвентаризации* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fao.org/newsroom/ru/news/2008/1000884/index.html>.
4. <http://www.npadd.ru/news/google-zapustil-sistemu-monitoringa-lesov>
5. <http://www.eco.com.ua/content/ispolzovanie-dannykh-distantionnogo-zondirovaniya-zemli-dlya-monitoringa-lesnykh-pozharov-n>
6. <http://www.ecologyreality.ru/ecolits-894-1.html>
7. *Сайт геологічної служби США* [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.usgs.gov/>.

Стаття надійшла до редакції 23.02.2016