

Сучасний стан і перспективні напрями картографування земельних ресурсів на основі даних дистанційного зондування Землі

*Роботу виконано на кафедрі геодезії,
картографії та управління територіями
ЧНУ ім. Ю. Федьковича*

Подано огляд основних досліджень, присвячених картографуванню структури та динаміки земельних ресурсів на основі даних дистанційного зондування Землі. У результаті виявлено певне переважання даних знімальної системи Landsat як основи для картографування змін структури земельних ресурсів, а також взаємозв'язок між кількістю досліджень, присвячених змінам структури земельних ресурсів, та загальним рівнем комплексних соціально-економічних змін, що відбулися у межах території дослідження за останні десятиліття.

Ключові слова: земельні ресурси, структура та картографування земельних ресурсів, дистанційне зондування Землі.

Смирнов Я. В. Современное состояние и перспективные направления картографирования земельных ресурсов на основе данных дистанционного зондирования Земли. Представляется обзор основных исследований, посвященных картографированию структуры и динамики земельных ресурсов на основе данных дистанционного зондирования Земли. В результате исследования выявлено некоторое преобладание данных съемочной системы Landsat в качестве основы для картографирования измененной структуры земельных ресурсов. Также выявлено взаимосвязь между количеством исследований, посвященных изменениям структуры земельных ресурсов, и общим уровнем комплексных социально-экономических изменений, что произошло на территории исследования за последние десятилетия.

Ключевые слова: земельные ресурсы, структура и картографирование земельных ресурсов, дистанционное зондирование Земли.

Smirnov J. V. Current Status and Future Direction of Land-use and Land-cover Mapping With Remote Sensing Data. The article reviews the main studies submitted on mapping the structure and dynamics of land-use and land-cover with remote sensing technologies. The study found a prevalence of Landsat data set as a basis for mapping land-use and land-cover changes. It also revealed the relationship between the amount of research on changes in the structure of land resources and the general level of complex socio-economic changes that have occurred on the study territory over the past decades.

Key words: land resources, land-use and land-cover mapping, remote sensing.

Постановка наукової проблеми та її значення. Інформація про структуру і динаміку земельних ресурсів надзвичайно важлива для вирішення багатьох наукових, виробничих та управлінських завдань. Вона може використовуватись як безпосередньо для прийняття управлінських рішень чи формулювання наукових гіпотез, так і як одного зі складників – необхідних для вирішення комплексних геосферних проблем.

Найзручнішою формою відображення інформації про структуру та динаміку земельних ресурсів безумовно є карта. Завдяки картографічному відображенню з'являється можливість візуально оцінити структуру земельних ресурсів та виявити закономірності її формування. Як джерело інформації для таких карт можна використати дані статистичної звітності, а також дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Дані статистичної звітності не можуть дати досить певні відомості, які потрібні для складання карт структури та динаміки земельних ресурсів. Це пояснюється недостатньою деталізованістю й відповідністю сучасним міжнародним стандартам кількісного та якісного обліку земель у рамках державного земельного кадастру (ДЗК) [9]. Тому як основне джерело для складання карт структури та динаміки земельних ресурсів використовуємо саме дані ДЗЗ. Статистична ж інформація застосовується для верифікації результатів обробки космічних

знімків. Подібні підходи до картографування земельних ресурсів успішно використовується за кордоном уже понад тридцять років [15].

В Україні процес залучення даних ДЗЗ із метою картографування структури та динаміки земельних ресурсів був дещо сповільненим, головним чином через відсутність легкодоступних для наукової спільноти даних ДЗЗ. Проте за останній період ситуація з доступністю цих даних в Україні кардинально змінилася. Значне зниження вартості даних ДЗЗ та поява централізованих репозитаріїв супутникових знімків – усе це сприяло появі низки досліджень, пов'язаних із картографуванням земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ.

Аналіз останніх публікацій із цієї проблеми. Дослідженню робіт із картографування земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ присвячено монографію К. Унсалана та К. Боєра [28]. Детальний огляд робіт цієї тематики подано у статтях В. І. Лялька та Ю. О. Карпінського [4; 5; 10]. У цих дослідженнях переважно висвітлюються проблеми, опубліковані більш ніж десять років тому. Це зумовлює необхідність огляду досліджень із картографування земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ, опублікованих за останнє десятиліття.

Мета – проаналізувати основні дослідження, пов'язані з картографуванням земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ. Джерелами інформації для дослідження є монографії та навчальні посібники, опубліковані в Україні та за кордоном протягом останніх двадцяти років, підбірки вітчизняних і закордонних фахових журналів, тематика яких присвячена картографії, аерокосмічним методам дослідження, ГІС-технологіям та дослідженням у сфері конструктивної географії.

Основні завдання статті полягають у визначенні тенденцій щодо використання космічних знімальних систем, а також вибору територій для картографування структури земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ серед вітчизняних та закордонних дослідників.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Всі дослідження, дотичні до картографування земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ, умовно поділяємо на дві великі категорії:

- дослідження технічного спрямування;
- дослідження еколого-географічного спрямування.

Категорію досліджень технічного спрямування подано у працях, у яких увага акцентується на особливостях використання даних ДЗЗ для вирішення прикладних завдань. Конкретна територія у таких дослідженнях або зовсім не вказується, або подається тільки її загальний опис.

Детальний огляд досліджень технічного спрямування, опублікованих із 1967 р. по 2002 р., подано у першій та п'ятій главах монографії «Multispectral Satellite Image Understanding. From Land Classification to Building and Road Detection» [28]. За даними авторів монографії, протягом останніх тридцяти п'яти років спостерігається стійка тенденція до збільшення кількості досліджень структури земельних ресурсів на основі даних космічних знімальних систем, що безумовно пояснюється їхнім стрімким розвитком. Аналіз гістограми, складеної на основі таблиць у цій монографії, свідчить про переважання сенсору «Landsat» порівняно з іншими знімальними системами (рис. 1). Очевидно це пояснюється тим, що програма «Landsat» була задіяна ще з 1972 р., а отже з цього часу й формувалася архів супутникових знімків цієї системи та вдосконалювались алгоритми їх обробки.

У процесі дослідження проаналізовано низку наукових праць, присвячених використанню конкретних знімальних систем, з метою отримання інформації про структуру земельного покриву, опублікованих за останні десять років. Зокрема, розглядалися підбірки таких фахових закордонних журналів, як «Remote Sensing of Environment», «Photogrammetric Engineering & Remote Sensing» та «International Journal of Remote Sensing». Враховуючи те, що тематика зазначених журналів охоплює практично всі аспекти дистанційного зондування Землі та фотограмметрії, до уваги бралися лише ті публікації, що безпосередньо дотичні до картографування земельних ресурсів, у тому числі динаміки їх структури.

Тенденція зростання популярності сенсору «Landsat» в останнє десятиліття збереглася. Зокрема дані цієї системи використано у дослідженнях Т. Сохла, Б. Гуїндона, С. Франкліна та К. Раджана. Так, у дослідженні К. Сонга [18] проаналізовано особливості впливу атмосферних ефектів на якість картографування динаміки структури земельних ресурсів, у праці Б. Гуїндона [21] вивчено можливість застосування даних Landsat для автоматизованого виділення меж заселених територій (на прикладі міст Вінніпег, Чикаго, Сент-Джонс, Мілуокі). У праці С. Франкліна [17] розглянуто пи-

тання використання даних Landsat для комплексного картографування динаміки структури ландшафтів (на прикладі канадських провінцій Альберта та Нью-Брансуїк). Особливості картографування змін структури земельних ресурсів у часовому проміжку більше ніж двадцяти років та на основі різних алгоритмічних підходів простежено у розвідці К. Раджана [24].

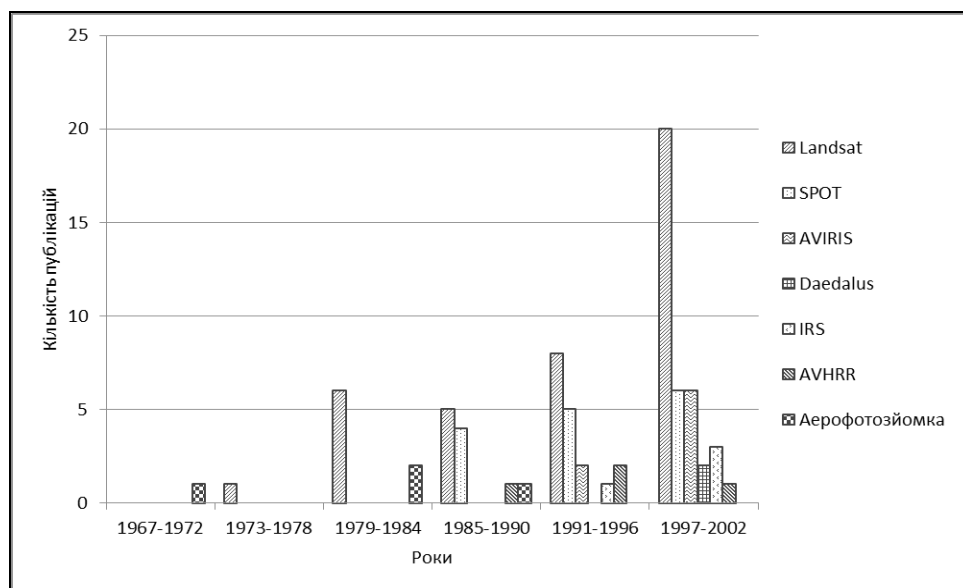


Рис. 1. Використання сенсорів ДЗЗ у наукових дослідженнях із 1967 р. до 2002 р. (за даними [28])

Окрім досліджень, у яких використовувалися дані Landsat за останні десять років, значно зросла кількість робіт із картографування земельних ресурсів на основі даних інших знімальних систем. Переважна кількість цих досліджень присвячена використанню гіперспектральних сенсорів, які введено в експлуатацію в останні десятиліття. Зокрема, заслуговує на увагу дослідження А. Папе [20], у якому розглядаються можливості застосування спектрорадіометра з середньою роздільною здатністю (MODIS) для визначення територій розселення ведмедів грізлі (*Ursus arctos horribilis*), а також праці Х. Хуанга та П. Тхенкабайла [22; 27], в яких вивчається проблема використання радарних даних (Radarsat та AVHRR) у процесі картографування динаміки структури земельних ресурсів.

Слід відзначити відносно незначну популярність серед дослідників земельних ресурсів даних ДЗЗ із надвисокою роздільною здатністю (наприклад, отриманих із супутників QuickBird та GeoEye). На думку автора, це пояснюється тим, що дослідження структури земельних ресурсів, та її зміни у часі потребує охоплення як значних територій у просторі, так і відносно великих часових проміжків. Проте фактор комерційної природи зазначених супутників обмежує можливість їх використання для багатьох дослідників з приводу фінансових міркувань.

В Україні протягом останніх десяти років також спостерігаємо зростання кількості досліджень технічного спрямування, присвячених як застосуванню даних ДЗЗ загалом, так і особливостям їх використання, для картографування земельних ресурсів. Слід відзначити оглядові статті Г. М. Жолобака, Я. В. Хляна, О. М. Боднара [3; 12; 1], у яких розглядаються перспективні напрями застосування даних ДЗЗ для моніторингу агроресурсів, загалом навколишнього середовища, а також системного моделювання природних процесів. Аналіз основних методів дешифрування об'єктів місцевості на основі даних ДЗЗ подано у праці Є. В. Кобилінської [6]. У дослідженнях Х. Бурштинської [2] вивчаються чинники, що впливають на роздільну здатність сучасних знімальних систем.

Аналізу особливостей алгоритмів класифікації даних ДЗЗ на основі гіперспектральних знімальних систем присвячено дослідження В. І. Лялька [5]. У працях С. А. Станкевича та С. М. Кочубея [11; 7] подано методики використання багатоспектральних космічних знімків з метою оцінки біорізноманіття та вмісту хлорофілу у рослинному покриві. До наукових розвідок технічного

спрямування належать праці Ю. О. Карпінського [10; 5], присвячені побудові полігону дистанційного зондування Землі для топографічного картографування.

Наступною групою досліджень, дотичних до картографування земельних ресурсів, є праці еколого-географічного спрямування. На відміну від досліджень технічного спрямування, у цих працях тип знімальної системи та алгоритми класифікації даних є другорядними, порівняно з результатом обробки даних ДЗЗ для конкретної території. Враховуючи значну кількість аналогічних досліджень, ми розглянули лише ті публікації, які стосуються картографування змін структури земельних ресурсів й опубліковано у фахових журналах протягом останніх десяти років. Всього було опрацьовано понад тридцять публікацій, короткий опис найважливіших із них подано нижче.

У розвідці Л. Жианга [23] проаналізовано зміни структури земельних ресурсів провінції Цзянсі (Китай) та їхній вплив на вразливість цієї території до затоплень. До уваги бралися космічні знімки системи Landsat упродовж із 1987 до 2004 р. Загальна достовірність класифікації варіювалася у діапазоні від 80 % до 85 %.

Об'єктом дослідження М. Баєра [16] стали «міста-близнюки» Міннеаполіс та Сент-Пол (США). Структура і динаміка земельних ресурсів цих міст картографувалася на основі системи Landsat протягом 1991–1997 рр. Загальна достовірність класифікації структури земельних ресурсів становила 95 %, а достовірність визначення змін у часі варіювала від 88 % до 90 %.

Відмінною від інших є праця А. Шифераву [26], в якій на основі даних знімальної системи Landsat та топографічних карт проаналізовано зміни структури земельних ресурсів частини регіону Амхара (Ефіопія). У цьому випадку використовувалися супутникові знімки за 1972, 1982 та 2003 рр., загальна достовірність класифікації становила приблизно 85 %.

У дослідженні А. С. Черпанова [14] подано технологію виявлення повільних змін у лісах, на прикладі аналізу вимокання лісів ключових ділянок Курганської області (Росія). Джерелом даних для дослідження використано знімальні системи Landsat, Terra/ASTER та ALOS/AVNIR-2. У процесі дослідження створено карту динаміки поширення листяних лісів за період із 1987 р. до 2006 р. (масштаб 1 : 200 000), а також серію карт вимокання лісів (масштаб 1 : 50 000).

Аналізуючи зазначені праці, можна сформулювати певні узагальнення. По-перше, основним джерелом супутникових знімків для картографування змін структури земельних ресурсів є система Landsat. Інші знімальні системи (наприклад, гіперспектральні, MODIS, EO-1) є менш популярними серед дослідників. Це обумовлено меншим терміном функціонування таких систем, що, у свою чергу, сприяє появі меншої кількості доступних різночасових знімків. По-друге, переважна кількість розглянутих досліджень стосується територій, що зазнали комплексних соціально-економічних змін за останні десятиліття.

Україна наприкінці ХХ – початку ХХІ ст. також зазнала трансформаційних змін, насамперед, пов'язаних із переходом до ринкової моделі економіки. Цей перехід, безумовно, відобразився і на структурі земельних ресурсів країни. Варто виокремити дві фундаментальні статті, опубліковані у фаховому зарубіжному журналі «Remote Sensing of Environment», які стосуються вивчення змін структури земельних ресурсів України протягом останніх десятиліть.

У першій із них колектив авторів на чолі з Т. Куеммерле [19] подав порівняльний аналіз структури земельних ресурсів для території, розташованої на перетині кордонів України, Польщі та Словаччини. У дослідженні використано знімки системи Landsat, отримані у середині 2000 р. Класифікацію структури земельних ресурсів виконано за допомогою методу головних компонентів. Під час дослідження автори прийшли до висновку, що з часів розпаду СРСР структура земельних ресурсів обстежуваних територій зазнала значних змін. Так, в Україні значно зменшилися площі під лісами, а в Польщі та Словаччині зріс загальний рівень фрагментації агроландшафтів.

У другій статті [22] Т. Куеммерле разом із колективом авторів з університетів Медісона, Бурлінгтона (США), Львова (Україна), Берліна (Німеччина) займався вивченням на основі даних ДЗЗ динаміки лісового покриву Українських Карпат. Аналіз виконано на основі даних знімальної системи Landsat упродовж із 1988 р. до 2007 р. Класифікація здійснювалася за допомогою методу опорних векторів, загальна її достовірність становила близько 90 %. У результаті виконання дослідження визначено значне зростання вирубок із часів розпаду СРСР та переважання площ реальних вирубок порівняно з даними, поданими у статистичній звітності.

В Україні також виконано ряд досліджень еколого-географічного спрямування, пов'язаних із картографуванням змін структури земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ. Так, у праці Д. С. Мальчикової [8] подано загальний огляд можливостей застосування даних ДЗЗ для картографування структури земельних ресурсів, зокрема проаналізовано можливості застосування сервісу Google Earth (знімки супутників Quickbird та Landsat 7) для візуального аналізу структури земельних ресурсів. У дослідженні О. Г. Часковського [13] на основі даних знімальної системи Landsat простежено зміни лісового покриву Українського Розточчя за період з 1986 р. до 2006 р. Автори використали алгоритм максимальної вірогідності з навчанням, виокремлено три класи лісового покриву, оцінку точності класифікації не виконано. Під час дослідження ми побудували карту зміни площ ділянок, вкритих лісовою рослинністю за досліджуваній період.

Висновки й перспективи подальших досліджень. Дослідження, присвячені картографуванню структури та динаміки земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ, широко представлені у фаховій літературі. У результаті опрацювання ряду основних публікацій, присвячених цій тематиці, встановлено, що найбільшою популярністю серед дослідників користуються матеріали знімальної системи Landsat. Це пояснюється доступністю знімків цієї системи, наявністю значного архіву знімків, що охоплює часовий проміжок більше ніж у тридцять років та великою кількістю алгоритмів автоматизованої класифікації, орієнтованих саме на багатоспектральні дані Landsat.

У географічному аспекті дослідження, присвячені картографуванню структури та динаміки земельних ресурсів на основі даних ДЗЗ, як правило, виконуються для територій, які зазнали комплексних соціально-економічних змін протягом останніх десятиліть. Незважаючи на те, що Україна також зазнала таких змін із часів розпаду Радянського Союзу, кількість подібних досліджень для її території порівняно незначна. Переважна кількість досліджень цієї тематики, опублікованих у вітчизняних журналах, має оглядовий характер, або стосується лише окремих структурних елементів землекористування (наприклад, лісів). Водночас спостерігаємо тенденцію поступового зростання за останні роки кількості досліджень, присвячених картографуванню земельних ресурсів України на основі даних ДЗЗ із використанням сучасних алгоритмів класифікації та міжнародних підходів до виділення окремих елементів землекористування. Вважаємо, що це свідчить про загальну перспективність вивчення земельних ресурсів України саме на основі даних ДЗЗ.

Список використаної літератури

1. Боднар О. М. Системне моделювання природних процесів на основі космічної інформації ДЗЗ і наземних спостережень / О. М. Боднар, З. В. Козлов, О. Д. Федоровський // *Косм. наука і технологія*. – 2008. – Т. 14. – № 4. – С. 53–57.
2. Бурштинська Х. Дослідження впливу основних чинників на розрізненість космічних знімальних систем / Х. Бурштинська, І. Долинська // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – 2010. – Вип. 73. – С. 87–91.
3. Жолобак Г. М. Використання методів дистанційного зондування Землі для моніторингу агроресурсів України / Г. М. Жолобак // *Косм. наука і технологія*. – 2010. – Т. 16. – № 6. – С. 16–23.
4. Карпінський Ю. О. Започаткування полігона дистанційного зондування Землі для топографічного картографування / Ю. О. Карпінський, Л. О. Скакодуб, А. В. Єгоров // *Вісн. геодез. та картогр.* – 2007. – № 1. – С. 31–37.
5. Класифікація земного покриву Карпат з використанням наземного хлорофільного індексу та позиції червоного краю за даними відеоспектрометра MERIS / В. І. Лялько та ін. // *Косм. наука і технологія*. – 2006. – Т. 12. – № 5/6. – С. 10–14.
6. Кобилінська Є. В. Розвиток методів дешифрування об'єктів місцевості при топографічному зніманні космічними системами ДЗЗ / Є. В. Кобилінська // *Вісн. геодезії та картографії*. – 2009. – № 4 (61). – С. 28–33.
7. Кочубей С. М. Использование деривативных вегетационных индексов для оценки содержания хлорофилла в растительности по данным измерений из космоса / С. М. Кочубей, Т. А. Казанцева // *Косм. наука і технологія*. – 2011. – Т. 17. – № 3. – С. 54–59.
8. Мальчикова Д. С. Використання ГІС/ДЗЗ-технологій для вивчення територіальної структури землекористування / Д. С. Мальчикова // *Проблеми безперервної географ. освіти і картографії*. – Х. : Харк. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна. – 2010. – Вип. 12. – С. 123–128.
9. Мартин А. Проблеми державного земельного кадастру в Україні [Електронний ресурс] / А. Мартин ; Громадська організація «Інформаційно-ресурсний центр «Реформування земельних відносин в Україні»». – Режим доступу : http://www.myland.org.ua/userfiles/file/AGMarty_n_cadastre.pdf.

10. Построение и обустройство полигона ДЗЗ для обеспечения крупномасштабного топографического картографирования на Украине / Ю. А. Карпинский и др. // Геоматика. – 2009. – № 2. – С. 56–58.
11. Станкевич С. А. Методика оцінювання біорізноманіття території за багатоспектральними космічними зображеннями середньої просторової розрізненості / С. А. Станкевич, А. О. Козлова // Косм. наука і технологія. – 2007. – Т. 13. – № 4. – С. 25–39.
12. Хлян Я. В. Застосування методів дистанційного зондування у моніторингу навколишнього середовища / Я. В. Хлян // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2009. – Вип. 72. – С. 134–137.
13. Часковський О. Г. Аналіз змін лісового покриття території Українського Розточчя на основі супутникових знімків Landsat за період із 1988 по 2006 роки / О. Г. Часковський, Л. Б. Косик, І. А. Більський // Наук. вісн. НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.16. – С. 139–143.
14. Черпанов А. С. Технология выявления медленных изменений в лесах по мультиспектральным космическим снимкам (на примере вымокания лесов) / А. С. Черпанов // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 66–75.
15. A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data / James R. Anderson at el. // Geological Survey Professional Paper 964. – 1976. – 41 p.
16. Bauer M. E. Multi-Temporal Landsat image classification and change analysis of land cover in the twin cities (Minnesota) metropolitan area / M. E. Bauer, F. Yuan, K. E. Sawaya // MultiTemp-2003, Second International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images. – Ispra, Italy, 2003. – 16–18 july. – P. 1–8.
17. Change detection and landscape structure mapping using remote sensing / S. E. Franklin // The Forestry Chronicle. – 2002. – № 78 (5). – P. 618–625.
18. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data : When and How to Correct Atmospheric Effects ? / Song C. at el. // Remote Sensing of Enviroment. – 2001. – Vol. 75. – P. 230–231.
19. Cross-border comparison of land cover and landscape pattern in Eastern Europe using a hybrid classification technique / T. Kuemmerle at el. // Remote Sensing of Environment. – 2006. – V. 103. – Issue 4. – P. 449–464.
20. Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007 / T. Kuemmerle at el. // Remote Sensing of Environment. – 2009. – Vol. 113. – Issue 6. – P. 1194–1207.
21. Guindon B. Automated Urban Delineation from Landsat Imagery Based on Spatial Information Processing / B. Guindon, Y. Zhang // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2009. – Vol. 75. – № 7. – P. 845–858.
22. Huang H. Land-cover Classification Using Radarsat and Landsat Imagery for St. Louis, Missouri / H. Huang, J. Legarsky, M. Othman / Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2007. – Vol. 73. – № 1. – P. 37–43.
23. Jiang L. Land-cover Change and Vulnerability to Flooding near Poyang Lake, Jiangxi Province, China / L. Jiang at el. // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2008. – Vol. 74. – № 6. – P. 775–786.
24. Pape A. D. MODIS-based Change Detection for Grizzly Bear Habitat Mapping in Alberta / A. D. Pape, S. E. Franklin // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2008. – Vol. 74. – № 8. – P. 973–985.
25. Rajan K. S. A GIS Based Integrated Land Use/Cover Change Model to study Human-Land Interactions / K. S. Rajan, R. Shibasaki // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – Amsterdam, 2000. – Vol. XXXIII. – Part B7. – P. 1212–1219.
26. Shiferaw A. Evaluating the land use and land cover dynamics in Borena Woreda of South Wollo highlands, Ethiopia / A. Shiferaw // Journal of Sustainable Development in Africa. – 2011. – Vol. 13. – № 1. – P. 87–107.
27. Spectral Matching Techniques to Determine Historical Land-use / Land-cover (LULC) and Irrigated Areas Using Time-series 0.1-degree AVHRR Pathfinder Datasets / P. S. Thenkabail at el. // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 2007. – Vol. 73. – № 9. – P. 1029–1040.
28. Ünsalan C. Multispectral Satellite Image Understanding. From Land Classification to Building and Road Detection / C. Ünsalan, L. Kim Boyer // Springer, 2011. – 203 p.

Адреса для листування:

58012, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2,
кафедра геодезії, картографії та управління
територіями, географічний факультет.

Статтю подано до редколегії
19.02.2012 р.