**Електронні навчально-методичні видання, які є об’єктом навчання в рамках навчальних дисциплін відповідно до навчальної програми підготовки бакалаврів і магістрів**

(згідно з розпорядж. Науково-дослідної частини № 03-21 від 05.05.2017 р.).

Дисципліна – *Аерокосмічні методи в лісовому господарстві.*

Кафедра /факультет – *лісознавства / природничих наук.*

Викладач – *професор кафедри лісознавства Шпарик Юрій Степанович.*

Список наукових текстів:

**1. Шпарик Ю.С.** Перспективи дистан­ційно­го зондування Землі для вирішення лісівничих завдань / Ю.С. Шпарик, М. Млчоушек, Ф. Гаєк, С. Кохан, О. Сахацький, Г. Жолобак // Лісовий і мисливський журнал. – Київ, 2009, № 5 – С. 14-16.

**2. Шпарик Ю.С.** Ідентифікація пралісів Кар­пат за космічними знімка­ми, як основа плану­вання туристичної діяльності / Ю.С. Шпарик, О.І. Сахацький, Ю.Ю. Беркела // Зб.: «Екотуризм і сталий розвиток у Карпатах». – Рахів, 2007 – С. 357-361.

**3.Шпарик Ю.С.** Динаміка і сукцесії гірських лісів Карпатського національ­ного природ­ного парку (за матері­алами космічних знімків та ГІС) / Ю.С. Шпарик, В.І. Лялько, О.І. Сахацький, Г.М. Жолобак, В.І. Парпан, О.І. Киселюк // Зб.: «Можливості сучасних ГІС/ДЗЗ-технологій у сприянні вирішення проблем Прикарпаття». – Івано-Франківськ. – 2005. – С. 7-9.

**4. Shparyk Y.S.** Monitoring of forests structure in North and West of Ukraine in connection with problems of ecology and estimation of carbon cycle using multispectral space images / V.I. Lyalko, A.Ya. Hodorovsky, G.M. Zholobak, A.A.Apostolov, Y.S. Shparyk // 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment Proceedings. - St. Petersburg, 2005. - P. 65-68.

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ У ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ**

Юрій Шпарик1, Марек Млчоушек2, Філіп Гаєк2, Світлана Кохан3, Олексій Сахацький4, Галина Жолобак4

1 – Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва;

2 – Інститут управління лісами Чеської Республіки;

3 – Національний університет біоресурсів і природокористування України;

4 – Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України.

Міжнародний українсько-чеський проект «Система диференційованого ведення господарства в лісових екосистемах Українських Карпат» (№ 33/MZE/ B/08-10) виконується згідно підписаного Меморандуму про взаєморозуміння між українськими та чеськими партнерами з 2008 року. Територією, де на практиці розробляються пропозиції з диференційованого (всебічного) ведення лісового господарства, є ліси Максимецького та Бистрицького лісництв Державного підприємства «Надвірнянське лісове господарство». Ці пропозиції передбачають пошук оптимальних рішень та перспектив щодо:

* виділення типів і категорій лісів;
* використання методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у лісовому господарстві;
* планування екологічної мережі в лісових екосистемах;
* виділення природних біотопів у лісових екосистемах.

В червні цього року у філіалі Фрідек-Містек Інституту управління лісами Чеської Республіки в рамках проекту було проведено робочу зустріч експертів з методів дистанційного зондування Землі та членів робочої групи з цього напрямку. Україна на цій зустрічі була широко представлена: від УкрНДIгiрлiс – координатором проекту Юрієм Шпариком; від ВО «Укрдержліспроект» – Олегом Алексіном; від Національного лісотехнічного університету України – Василем Костишиним; від Національного університету біоресурсів та природокористування України – Світланою Кохан, Віктором Миронюком і Дмитром Гілітухою. Чеська республіка була представлена директором філіалу Фрідек-Містек Мареком Млчоушеком, Філіпом Гаєком – фахівцем з використання методів ДЗЗ у лісовому господарстві і Робертом Класеком – фахівцем з GPS. В ході робочої зустрічі Світлана Кохан здійснила огляд теоретичних основ дистанційного зондування Землі, типів і характеристик сучасних сенсорних систем, а також представила можливості практичного застосування результатів обробки даних ДЗЗ. Філіп Гаєк представив інформацію щодо застосування космічних знімків у лісовому господарстві Чеської Республіки та дав аналіз можливостей класифікації лісів за допомогою програмного засобу Erdas Imagine 9.3, який буде використано у проекті для обробки космічних знімків. Юрій Шпарик та Олег Алексін дали загальний огляд сучасного використання космічних знімків у лісовому господарстві України і відмітили, що цей процес перебуває тільки на етапі визначення завдань та оцінки ефективності.

Коротко про терміни. Космічний знімок – це цифровий знімок території Землі, який виконано з космічних літальних апаратів з допомогою відповідних датчиків (сенсорів) і на відповідних частотах (довжинах хвиль). Космічні знімки бувають чорно-білі (PAN) або багато канальні, на яких може бути різна кількість каналів. Сенсор – це спеціальний пристрій, який перетворює відбитий від поверхні Землі світловий спектр у цифровий знімок на властивих для цього сенсору довжинах хвиль. Розмір пікселя або просторове розрізнення – це найменший лінійний розмір об’єкта, який можна розпізнати на даному космічному знімку.

За результатами проведеної зустрічі визначено основні перспективні напрямки використання методів ДЗЗ у лісовому господарстві України:

**1. Встановлення контурів лісових масивів**. Завдання має вирішуватися з врахуванням рівня ведення лісового господарства. Для базового рівня (окреме господарство) доцільно використовувати знімки з розрізненням 0,7-2,0 м (сенсори EROS B, Ikonos, Ресурс-ДК, QuickBird). Знімки з розрізненням 5-15 м можуть використовуватись як на базовому рівні (IRS-1D PAN, Cartosat-5, Spot-5, ALOS), так і на регіональному (Terra/Aster). Для національного рівня найбільш придатним тут є знімки з розрізненням 30-50 метрів (TM, ETM+, Hyperion). Найкращі результати за співвідношенням «ціна-якість» для виконання такого роду робіт дають космічні знімки з розміром пікселя 5-10 метрів в панхроматичному діапазоні.

**2. Визначення породного складу деревостанів.** Для вирішення цього завдання слід використовувати сенсори з просторовим розрізненням від 2 до 30 метрів в залежності від необхідного масштабу проведення робіт. Так, якщо завдання передбачає пошук лісових ділянок визначеної наперед породи в рамках одного господарства (3-5 тис. га), то просторове розрізнення космічних знімків має бути на рівні 2-5 метрів. Якщо потрібно оцінити співвідношення головних порід в лісах цілої області чи природного регіону, доцільно використовувати сенсори, які характеризуються просторовим розрізненням 10-30 метрів. На рисунку 1, як приклад такої роботи, представлено результат дешифрування знімку космічного апарату Spot-5 за вереснь 2007 року, яке було виконане в Науковому Центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України за опрацьованими в попередні роки методиками [1-3].

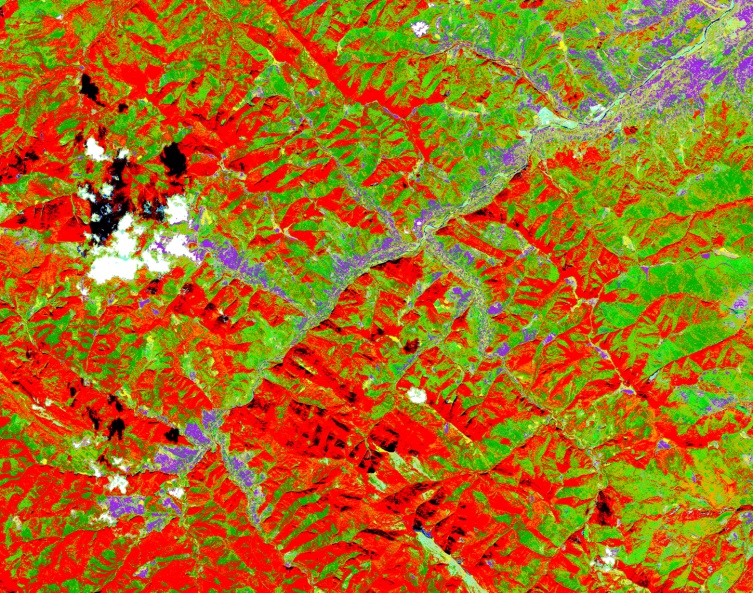


Рисунок 1 – Приклад дешифрування угідь на знімку Spot-5

У таблиці 1 наведено легенду, що характеризує одержаний у результаті класифікації тематичний растр.

Таблиця 1 – Кольори різних угідь на дешифрованому знімку Spot-5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  п/п | Колір | Угіддя |
|  | Червоний | Хвойні ліси |
|  | Зелений | Листяні ліси |
|  | Помаранчевий | Змішані ліси |
|  | Жовтий | Вирубка, що заростає трав’янистою рослинністю |
|  | Світло-зелений | Вирубка, що заростає деревами і чагарниками |
|  | Аквамариновий | Прибережне каміння |
|  | Синій | Вода |
|  | Сірий | Населені пункти (будівлі) |
|  | Фіолетовий | Сільськогосподарські угіддя (городи) |
|  | Білий | Хмари |
|  | Чорний | Тіні від хмар |

Територія наведено знімку Spot-5 охоплює переважно лісові масиви ДП «Надвірнянське лісове господарство» і частково – ліси ПЗ «Ґорґани», а також, включає дослідну територію проекту «Система диференційованого ведення господарства в лісових екосистемах Українських Карпат». Отримані результати свідчать про можливість ідентифікації на космічних знімках основних господарських угідь та визначення їх площі. Точність таких розрахунків на знімку Spot-5 склала 25 м2 (розмір пікселя 5 м), що в значній мірі задовольняє потреби лісового господарства. Подальше впровадження та використання сучасних методик дешифрування, у тому числі використання «м’яких» класифікаторів та методів нечіткої логіки, субпіксельної класифікації сприятиме пошуку деревостанів заданих порід з використанням мульти- та гіперспектральних космічних знімків в залежності від поставлених задач. Вже зараз на знімку Spot-5 можна відділяти вирубки, які заростають деревами і чагарниками, від вирубок, на яких росте тільки трав‘яна рослинність, а також, молодняки – від зрілих лісів з великим деревами. Це дає можливість відстежувати сукцесії на вирубках і на непокритих лісом землях для поточного планування заходів з лісовідновлення. В цілому, знімки з розміром пікселя 5 × 5 метрів в змозі задовольнити потреби лісогосподарських підприємств в картографічному матеріалі для планування лісогосподарських заходів.

На регіональному рівні проведено дешифрування знімку Landsat-7/ETM+ (рис. 2), який охопив майже повністю Івано-Франківську і частково Львівську, Закарпатську та Чернівецьку області. Білим контуром на рисунку 2 наведено територію знімку Spot-5, результати класифікації якого наведено вище. В результаті класифікації знімку Landsat (за тим самими методами Наукового Центру аерокосмічних досліджень Землі) одержано тематичний растр, результати якого можна використовувати при вирішенні лісогосподарських завдань на регіональному рівні. Візуально видно, що в другому випадку отримано дещо більшу площу хвойних лісів на дослідній території проекту. Це пояснюється ігноруванням території малих за площею (декілька сотих гектара) або вузьких (до 30 метрів) за формою лісових ділянок листяних лісів, які розташовані між ділянками хвойних лісів. А оскільки домінують тут саме хвойні ліси, то і збільшення їх площі відчутне. Цікаво, що дешифрування угідь за знімком Spot-5, навпаки, збільшило площу листяних лісів на цій території, очевидно за рахунок занадто малого розміру пікселя – бралися до уваги навіть окремі великі дерева бука, які не формують окремих лісових ділянок з перевагою бука.

Однак, слід відмітити, що порівняння результатів класифікації знімків з різним просторовим розрізненням є дещо некоректним, оскільки у кожному окремому випадку вирішуються завдання різних рівнів.

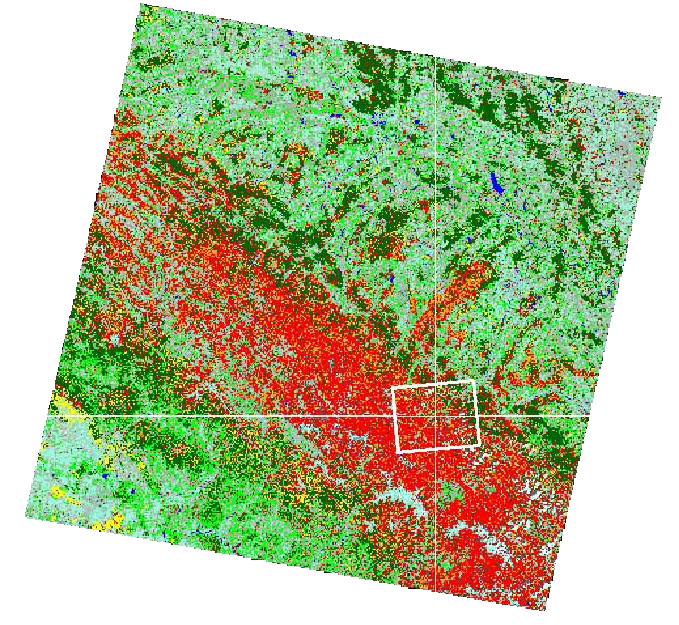


Рисунок 2 – Приклад дешифрування угідь на знімку Landsat

**3. Контроль за станом (пошкодженнями) лісів**.

Оцінка поточного стану лісів за космічними знімками в значній мірі ускладнена через необхідність врахування темпорального розрізнення, яким характеризуються різні сенсорні системи, а також тривалістю терміну після замовлення знімка та його одержанням. Тому, оперативний контроль за станом лісів проводити практично не можливо як на базовому, так і на регіональному рівнях. Але, за наявності архівних знімків досліджуваної території, можна здійснювати аналіз стану лісів за минулі роки або вивчати динаміку поширення хвороб і шкідників лісу у часі. При аналізі стану лісів у межах окремого господарства оптимальні результати одержують при використанні знімків з просторовим розрізненням 1-15 м.

**4.** **Контроль вологості лісових ґрунтів** (екосистем). Це завдання є важливим з позицій прогнозування приросту і стану лісових екосистем, а в гірських умовах – для попередження паводків. За вологістю ґрунтів на початку вегетаційного сезону можна прогнозувати величину річного приросту або відсоток втрат деревини. З попередженням паводків проблема полягає в неможливості або в дороговизні отримання актуальних космічних знімків. Перспективним для вирішення даного типу завдань є використання радарних знімків.

Отримані в результаті дискусій висновки щодо перспектив використання космічних знімків та їх базові характеристики зведені в таблицю 2. Крім проаналізованих вище напрямків використання космічних знімків, в таблиці 2 також вказані інші перспективи методів ДЗЗ в лісовому господарстві України, які були підібрані авторами за літературними даними [4-7].

Таблиця 2 – Перспективи використання даних ДЗЗ у лісовому господарстві

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Перспективні напрямки використання методів ДЗЗ | Рівень завдання | Просторове розрізнення, м | Знімальний сенсор або космічний апарат |
| Лісівниче та кліматичне районування | Національний, Регіональний | 250, 500  110 | MODIS  VEGETATION-1/2 |
| Ідентифікація та облік лісогоспо­дар­ських угідь за площею | Національний Регіональний  Базовий (окреме господарство) | 30  5-15  1-4  1,0 | TM, ETM+, Hyperion  HRVIR, HRV, Aster  Ikonos-2  TerraSAR-X |
| Побудова тривимірної моделі рельєфу, контроль схилів | Регіональний  Базовий | 5-20  1,0 | Aster , Spot-4,5  Ikonos-2 |
| Контроль вологості ґрунтів | Регіональний  Базовий | 26-100  5-15 | TM, ETM+, ERS-1/2, PALSAR (ALOS)  HRVIR |
| Ідентифікація породного складу лісів | Регіональний  Базовий | 30  5-15,  1-4,  1,0 -1,8  0,6 | TM/ ETM+, Hyperion,  HRVIR, HRV, Spot-5  Ikonos-2,  EROS-A/B,  QuickBird |
| Контроль стану лісів і розвитку хвороб та шкідників | Національний Регіональний  Базовий | 70-250  30  5-15  1,0  8,0 | MODIS, AWIFS  Hyperion, ETM+  HRVIR, HRV, Aster,  Ikonos-2,  Formosat -2 |
| Детальна інвента­ризація лісів (ви­зна­чення окремих таксаційних показників) | Базовий | 5  1,0  0,7  0,61  3-8 | Spot-5  Ikonos-2  EROS B  QuickBird  Radarsat-2 |
| Визначення площ катастрофічних стихійних явищ, лісосік, не зімкну­тих лісових культур і т.п. | Базовий | 2,5  5,8  5,0 | PRISM (ALOS)  RESOURCESAT -1  Spot-5 |

Загальним висновком є те, що космічні знімки за останні десятиріччя успішно пройшли перевірку можливості їх господарського застосування, покращили свою розрізненість з декількох сотень метрів до декількох дециметрів (в тисячу раз) і вже зараз їх використання сприяє вирішенню лісівничих завдань на різних рівнях господарювання.

Перелік посилань:

1. Сахацький О.І., Лялько В.І, Азімов О.Т., Сибірцева О.М., Ходоровський А.Я., Шпортюк З.М. , Бідна С.М.Використання багатозональних космічних знімків з метою вивчення рослинності Зони Відчуження ЧАЕС // Новi методи в космiчному землезнавствi. — Київ: ЦАКДЗ IГН НАНУ, 1999. — С. 105—113.

2. Sakhatsky A.I., McCallum J., Khodorovsky A.Ja, Bujanova I.Ja. (2005) Classification of space images for forest state identification within the Siberia region (Part 1) // IIASA, Laxenburg, Austria, IR-02-29 – 45 p.

3. Lyalko V.I., Nilsson S., Sakhatsky A. I., Shvidenko A., McCallum J., Hodorovsky A. Ja., Harechko O. G. (2005) Earth observation of Ukraine and Siberia for an estimation of their state, fire risk and carbon cycle. // In «New Strategies for European Remote Sensing». М.Oluic (ed.) – Rotterdam: Millpress, ISBN 905966003X , 2005 – P. 269-277.

4. Парпан В.І., Шпарик Ю.С., Лялько В.І., Сахацький О.І., Жолобак Г.М., Киселюк О.І. Космічні знімки Українських Карпат / “Лісовий і мисливський журнал” - Київ - 2006, № 3 – С. 13

5. Кохан С.С. Класифікація даних дистанційного зондування Землі з космосу: сучасні тенденції. / Науковий вісник НАУ. – Київ, 2006. - Вип. 104. – С.102-112.

6. Шпарик Ю.С., Сахацький О.І., Беркела Ю.Ю. Ідентифікація пралісів Карпат за космічними знімками, як основа планування туристичної діяльності / Зб.: «Екотуризм і сталий розвиток у Карпатах» - Рахів, 2007 – С. 357-361.

7. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи. С.Кохан, А.Востоков. – К.: Вища школа, 2009. – 511 с.

УДК 630\*188

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРАЛІСІВ КАРПАТ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ, ЯК ОСНОВА ПЛАНУВАННЯ ТУРИСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Ю.С. Шпарик1, О.І. Сахацький2, Ю.Ю. Беркела3

1 – Український НДІ гірського лісівництва, Івано-Франківськ, Україна,

2 – Центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України, Київ, Україна,

3 – Карпатський біосферний заповідник, Рахів, Україна

Для ідентифікації пралісів Українських Карпат за космічними знімками використано методичний підхід, який враховує мозаїчну структуру пралісів: на всій їх площі постійно присутні прогалини з молодим деревостаном; розміри прогалин коливаються від десятків до сотень квадратних метрів; породний склад і основного намету, і молодого деревостану, в більшості випадків, однаковий. Виділено ділянки пралісів і в Карпатському біосферному заповіднику.

VIRGIN FORESTS IDENTIFICATION ACCORDING SATELLITE IMAGES AS BASE OF TOURISM ACTIVITY PLANNING

Y.S. Shparyk, O.I. Sakhatskyj, Y.Y. Berkela

A method of forest mosaic structure taking into consideration was used for virgin forests identification on satellite images. Such structure becomes apparent as follows: there are many gaps of the young stand among a virgin forest; gap size varies from scores to hundreds square meters; species compositions of young and old stands are mainly the same. Territories of virgin forests were identified in Carpathians Biosphere Reserve too.

Наявність пралісів в Українських Карпатах є великою цінністю для лісознавчої науки. Поняття "пралісу" трактується багатьма дослідниками у європейській літературі по-різному. Чернак (1910) дає таке визначення цього терміну: "Під пралісом я розумію такий ліс, який ще повністю знаходиться у тому стані, який він отримав від природи і де було відсутнє будь-яке людське втручання". Лейбундгут (1978) визначив праліс як "недоторкану людиною систему з велетенськими деревами, гігантськими деревними запасами, де є багато підросту та підліску, та де багато стоячої і лежачої мертвої деревини". Рубнер (1960) під поняттям праліс розуміє "такі лісові угруповання та рослинність, а також склад видів, структуру та ріст, які з'явились як кліматично-обумовлений заключний ланцюжок поколінь". Корпель (1995) під пралісом розуміє "лісове угруповання, склад якого, структура, ріст та інші життєві процеси обумовлені особливостями довкілля, передусім кліматом". Екологічно стабільні та тривалі взаємостосунки в лісових угрупованнях Браун-Бланке характеризує як "клімаксовий ліс, адже ж клімаксові угруповання втілюють в собі динамічні рівноваги між кліматом, геоморфологією, грунтом і рослинністю". До пралісів (Парпан, 1993; Парпан, Стойко, 1999) відносять також лісові екосистеми, філо­ценогенез (історичний розвиток) яких проходив у незмінному природному середовищі, в якому функціональні взаємозв'язки між автотрофним, гетеротрофним та педосферним блоками не порушені, ценотична структура яких не зазнала антропогенного впливу (за винятком можливого глобального забруднення), склад деревних видів, їх структура обумовлені виключно природними факторами довкілля та умовами місцезростання. В нашому розумінні (Шпарик та ін., 2003) найбільш простим є таке визначення: “пра­ліси – це ліси, в яких втручання людини зведене до мінімуму і не лімітує при­родні сукцесії період часу, який є біль­шим за вік природної стиглості доміну­ючої лісотвірної породи”. Пізнання зако­но­мірностей струк­тури та особли­во­стей функціонування таких природ­них різнові­кових лісів дасть можливість розро­би­ти моделі сталого розвитку деревостанів відпо­відного пород­ного складу. Особ­ливо актуальні ці питання для гір­ських умов Карпат, де ліс виконує суттєві еко­логічні функції, зокрема рекреаційні, і тому існує потре­ба в постійному вкритті лісом гірських схилів.

Ідентифікація та картування пралісів має бути обов’язковою умовою при складанні проектів туристичного освоєння будь-якої території в Карпатах, що обумовлено специфікою ведення лісового господарства в таких умовах. Роботи цього плану ведуться з 1999 року (Лялько та ін., 1999, 2002, 2005). Зараз в Укра­їнських Карпатах, за нашими оцінками, біля 25 тис. га реально пра­лісо­вих екосистем різ­ного видового складу. Однак, більш точне визначення їх площі є дуже проблематичним через ряд причин:

- критерії визначення пралісових екосистем в значній мірі суб’єктивні і не є загальноприйнятими (офіційно затвердженими);

- при ідентифікації пралісів в натурі існують проблеми з проведенням належних замірів та визначень;

- методика ідентифікації пралісів різних породних складів має свої відмінності.

Ідентифікація пралісів та класифікація космічних знімків виконувались за допомогою програми ERDAS IMAGINE. При цьому, пікселі зображення в межах значної кількості виділів тестових ділянок опитувались програмою. В результаті були отримані середні значення та статистичні параметри розподілу спектральної яскравості різних рослинних угруповань для кожного каналу багатозонального космічного знімка Landsat 7, а також побудовані гістограми розподілу спектральної яскравості для порівняльного аналізу (тобто отримані середні параметри космічних знімків для різних рослинних угруповань у межах тестових ділянок). Таким чином, були отримані спектральні характеристики для окремих видів лісової рослинності та різних ландшафтів (табл. 1).

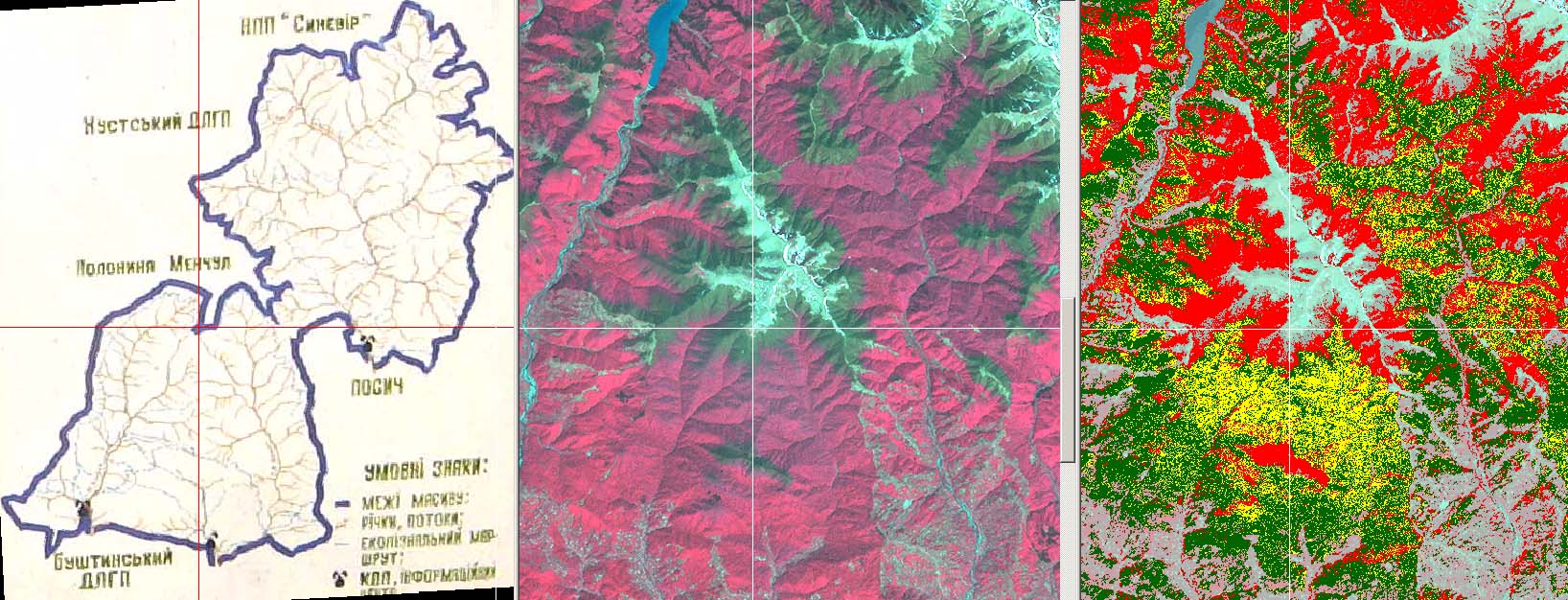
Таблиця 1 – Типові характеристики спектральної яскравості\* для різних типiв ландшафтів за спектральними діапазонами

(знімок Landsat 7 від 02.05.2000)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Назва  ландшафту | Спектральні діапазони (в чисельнику – середнє значення, в знаменнику – стандартне відхилення), нм | | | | | | |
| 450 – 520 | 520 – 600 | 630 –690 | 760 –900 | 1550 –1740 | 10400 - 12500 | 2080 – 2350 |
| Букові ліси | 63.8  1.8 | 62.1  2.5 | 39.9  2.8 | 141.3  8.1 | 95.1  6.1 | 118.7  2.5 | 43.8  5.1 |
| Букові праліси | 66.9  2.5 | 59.7  4.6 | 43.5  3.7 | 94.1  15.4 | 72.5  10.9 | 114.1  2.2 | 37.3  4.9 |
| Хвойні ліси  (Ялина) | 60.1  1.8 | 42.1  2.4 | 31.6  2.5 | 48.2  7.3 | 38.3  7.4 | 111.9  2.6 | 22.1  3.9 |
| Полонини,  луки | 70.3  2.8 | 61.0  3.6 | 52.2  6.75 | 106.9  13.0 | 105.3  12.9 | 139.4  6.2 | 58.0  10.0 |
| Водна  поверхня | 67.9  1.9 | 47.6  2.0 | 35.1  1.9 | 17.6  0.9 | 15.7  1.2 | 130.7  1.0 | 13.3  1.8 |

\* Примітка: спектральні яскравості дано в умовних одиницях в градаціях від 0 до 255.

Результати проведеної класифікації типів ландшафту за космічними знімками в межах району досліджень представлені на рис. 1. В гірських лісах найбільш вдало визначаються листяні ліси з перевагою бука, хвойні ліси надійно відокремлюються від листяних (більше 80% випадків), легко ідентифікується рослинність на луках та вирубки різного віку, а також населені пункти, техногенні об’єкти в межах населених пунктів, хмари (100% випадків). Досить добре виділились букові праліси – на рисунку чітко видно їх мозаїчну структуру. Певні проблеми виникають при виділенні хвойних лісів. Їх наявність була ідентифікована за знімком, але не підтверджена в натурі. На нашу думку, це обумовлено наявністю великої кількості контрастних схилів – в залежності від їх крутизни та експозиції яскравість схилів на незначній відстані може різко змінюватися. Це утруднює класифікацію знімків. Тобто, на даному етапі в межах району досліджень виділені ділянки хвойних лісів потребують ще додаткової перевірки.



***А Б В***

*Рис. 1 - Результати класифікації гірських лісів Українських Карпат за*  *знімком Landsat-7 від 02.05.2000:*

*A* - *карта-схема Угольско-Широколужанського масиву;*

*Б - вигляд фрагменту космічного знімка Landsat‑7/ETM;*

*В - фрагмент класифікованого знімка (жовтий колір – букові праліси з чітко ідентифікованою мозаїчною структурою).*

***Висновки***

Попередня класифікація знімку Landsat-7 з метою виділення букових пралісів дозволила отримати середні параметри космічних знімків для різних рослинних угруповань у межах тестових ділянок. Найбільш вдало було ідентифіковано букові праліси та листяні ліси з перевагою бука.

Ідентифікація пралісів за космічними знімками є одним з найбільш сучасних і найменш суб’єктивних методів вирішення проблеми обліку пралісових екосистем.

Певні проблеми виникають при відділенні листяних від хвойних лісів в умовах значної крутизни схилів і тому на даному етапі досліджень виділені ділянки хвойних лісів потребують додаткової перевірки.

***Перелік посилань:***

1. Korpel’, Š., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Stuttgart / Vena / New York, Gustav Fischer. 253 pp.
2. Leibundgut, H., 1978: Über Zweck und Probleme der Urwaldforschung. Allgemeine Forstzeitschrift 24: 683-684.
3. Парпан В.I. Структура, динаміка і екологічні принципи раціонального використання букових лісів Карпатського регіону. Автореф. дис. … доктора біол. наук, Дніпропетровськ, 1994. - 42 с.
4. Парпан В.I., Стойко С.M. Букові праліси Українських Карпат: захист і ценотична структура. / Зб. Праці Інституту Фольклору НАНУ, №4, 1999. – С. 81-86.
5. Rubner, K., 1960: Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues. Ed.5. Radebeul, Neumann. 620 pp.
6. Шпарик Ю.С., Вітер Р.М., A. Buergi, B. Commarmot, А. Zingg, Беркела Ю.Ю.Структура, ріст та ГІС бу­кового пралісу Україн­сь­ких Карпат. / Зб. "Лісове господарство, лісова, па­пе­рова і деревообробна промисло­вість". - Львів, 2004, № 29. - с. 17-27
7. Лялько В.І., Сахацький О.І., Азімов О.Т. Сибірцева О.М., Ходоров­ський А.Я., Шпортюк З.М., Бідна С.М. Використання багато­зональних космічних знімків з метою вивчення рослинності зони відчуження ЧАЕС // Матеріали науково-технічного семінару «Нові методи в аерокосмічному землезнавстві», 27-28 травня 1999 року м. Київ, с. 105-113.
8. Лялько В.И, Сахацкий О.І., Ходоровский А.Я. и др. Комплексирование многозональних космических снимков различного пространственного разрешения для повышения эффективности исследований лесных массивов (на примере зоны отчуждения ЧАЭС и районов Сибири) // Космічна наука і технологія Т.8. – N 2/3. 2002. – С. 239 – 246.
9. V.I. Lyalko, A.I. Sakhatsky, A.Ya . Hodorovsky, G.M. Zholobak, A.A. Apostolov, Y.S. Shparyk Monitoring of forests structure in North and West of Ukraine in connection with problems of ecology and estimation of carbon cycle using multispectral space images. Proc. 31 ISPRS, St. Peterburg, 20 – 24 June 2005.

***Жолобак Г.М., Лялько.В.І., Сахацький О.І.***

***(Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Київ)***

***Парпан В.І., Шпарик Ю.С.***

***(Український НДІ гірського лісівництва, Івано-Франківськ)***

***Киселюк О.І.***

***(Карпатський національний природний парк, Яремча)***

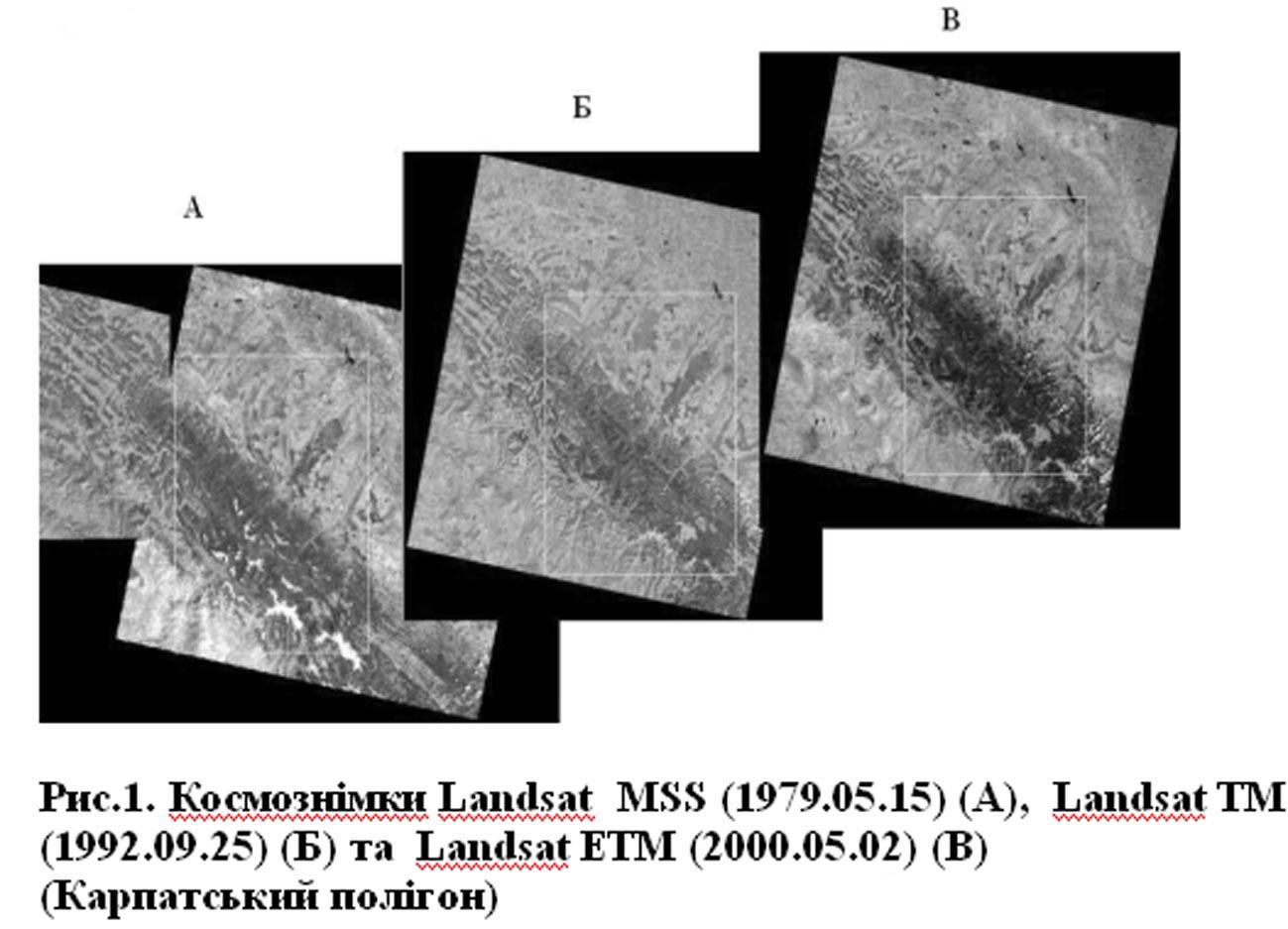
**ДИНАМІКА І СУКЦЕСІЇ ГІРСЬКИХ ЛІСІВ КАРПАТСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ (ЗА МАТЕРІАЛАМИ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ ТА ГІС)**

Карпатський національний природний парк є найбільшим за площею об’єктом природо-заповідного фонду на Прикарпатті. З моменту його створення минуло вже 25 років і заповідний режим господарювання за цей період досить суттєво змінив як співвідношення площ різних рослинних асоціацій, так і напрямки їх сукцесій. З позицій збереження природного біорізноманіття регіону є актуальним вивчення особливостей динаміки площі і породного складу лісів Карпатського НПП. Враховуючи масштаб необхідних досліджень та умови рельєфу парку, найбільш придатним для цього є використання матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та засобів геоінформаційних систем (ГІС) лісових земель.

Вивчення динаміки і сукцесій гірських лісів Карпатського НПП прово­дилося в рамках ініціативи BEAR ЄКА, яка входить до загально­європейської тематики “Зміни лісів та глобальний моніторинг вуглецю”. Для виконання досліджень нами використовувались знімки Landsat-7/ETM, TERRA/MODIS, NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS. Їх класифікація була реалізована за матеріалами наземних завіркових даних та з використанням ГІС повидільних таксаційних характеристик лісів Карпатського НПП у форматі Mapinfo.

В результаті проведеної класифікації вказаних знімків встановлено площі, які займають ліси різного породного складу (хвойні чи листяні) в межах території досліджень. Було також виконано порівняльний аналіз для встановлення точності виділення різних класів рослинних угруповань за знімками низької та високої просторової розрізненності. В межах Карпатського НПП знімки ENVISAT /MERIS з розрізненністю 1,2 км порівнювались зі знімками NOAA/AVHRR (1,1 км) та TERRA/MODIS (250 м і 500 м), зробленими в період 15 квітня - 02 травня 2004 р. Відносним еталонам для порівняння були дані класифікації знімку Landsat-7/ETM (30 м) від 02 травня 2000 р. Як показали проведені дослідження, за знімками низької та середньої розрізненності (NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS, SPOT Vegetation, TERRA /MODIS) площі листяних лісів, як правило, оцінюються із завищенням їх дійс­ного розповсюдження. Іноді помилково землі, вкриті трав’янистою рослин­ністю, відносяться до класу листяних лісів та навпаки. Хвойні ліси, здебіль­шого, визначаються із заниженням їх дійсної площі на декілька процентів.

З метою вивчення динаміки площі лісів у межах Карпатського НПП за останні 20 років було здійснено класифікацію знімків зі супутника Landsat, виконаних 15 травня 1979 р., 25 вересня 1992 р. та 02 травня 2000 р. (рис.1). Виявлено тенденцію до зменшення долі трав’янистої рослинності і зростання відсотку площі лісів в межах досліджуваної території Карпатського полігону. (табл.1).

Таким чином, проведені дослідження показують, що, по-перше, тренд зміни співвідношення площ листяних і хвойних лісів на території Карпатського НПП спрямований на збільшення площі листяних лісів і, по-друге, відмічається збільшення площі лісів за рахунок ділянок з трав’янистою рослинністю.

# Monitoring of forests structure in North and West of Ukraine in connection with problems of ecology and estimation of carbon cycle

**using multispectral space images**

## Lyalkoa, A.I. Sakhatskya, A.Ya . Hodorovsky a, G.M. Zholobaka, A.A. Apostolova , Y.S. Shparykb

aCentre for aerospace research of the Earth (CASRE) NAS of Ukraine, 55-B, Oles Honchar str., Kyiv, 01601, GSP,Ukraine,

Email: [sakhatsky@casre.kiev.ua](mailto:sakhatsky@casre.kiev.ua)

## b Ukrainian Research Institute for Mountain Forestry, 31, M.Grushevskogo St.Ivano-Frankivsk, UA-76000, Ukraine Email: [lis@il.if.ua](mailto:lis@il.if.ua)

Abstract - The forests in investigated regions occupy the significant areas in limits of Pre-Carpathians, Carpathians and Ukrainian Polesje. Last years in connection with Chernobyl accident and significant cuttings down of forests in Carpathians region and in some other areas of Ukraine the ecological problems became more essential. For the control of an environment it is necessary to carry out forests monitoring, that most effectively can be carried out on the basis of satellites images. For research realization the multispectral images from Landsat-7\ETM, SPOT XI, TERRA/MODIS, NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS

were used. The work is carried out in the frames of BEAR projects of ESA, with focus on thematic “Forest changes and global carbon monitoring”. As a result of the carried out researches the images with different spatial and spectral resolution were classified and compared. Areas occupied by coniferous, deciduous and mixed forests were specified within the limits of investigated regions.

**Keywords:** monitoring of forests, multispectral images.

### INTRODUCTION

The forests of North and West Side of Ukraine occupy the significant areas in limits of Pre-Carpathians, Carpathians and Ukrainian Polesje. Alongside with primary forests the significant areas are engaged by planting forests since 1945. The forests in research regions are intensively exploited for timber, while playing the important role in ecological condition (localisation of pollution, preservation of water and carbon cycle etc.) and influence on climatic changes at regional and global levels. Last years in connection with Chernobyl accident and significant cuttings down of forests in Carpathians region and in some other areas of Ukraine the ecological problems became more essential.

For realization of the control of an environment it is necessary to carry out monitoring of forests, that most effectively can be carried out on the basis of using of modern satellites images.

The work is carried out in the frames of BEAR initiative of ESA, which aims are supporting the formation of research networks between Europe, Russia and Ukraine, as well as promoting the use of data from Earth Observation satellites from ESA, Russia and Ukraine together. The our research focus on monitoring of forests state of investigated region according the following thematic of the GMES initiative of ESA and the European Commission - “Forest changes and global carbon monitoring”.

The classification of space images is in a basis of our study of forest vegetation. The different classes of vegetation are created on the basis of the given ground data on tests - sites within the research area. For research realization the images with different spatial and spectral resolution from Landsat-7\ETM, SPOT XI, TERRA/MODIS, NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS etc.

were used. The paper describes the preliminary results of comparison of classification to check how accurate coarse resolution images estimation and especially MERIS reduced resolution data (RR) for land use and land cover (first of all deciduous and coniferous forests) mapping and monitoring. The comparison have been done for results of images classification both within 2 separate test polygons and for whole North and West Ukraine. First test polygon is situated in Ukrainian Polesje, within Chernobyl exclusion zone and the second one in Ukrainian Carpathian, within Carpathian national natural park (South of Ivano-Frankovsk oblast). Thus, this is one of the case studies to find bridge between coarse / medium resolution images data (especially MERIS) and Landsat/SPOT data that can be used for vegetation monitoring at regional and global scales.

### 2 DATA SOURCES AND METHODS

The reduced resolution image ENVISAT/MERIS level1b (1.2 x 1.2 km2) recorded on April 16, 2004 have been used. MERIS (RR) image was sponsored by ESA in the frames of BEAR initiative. Specification of the spectral bands are given in Website (Meris User Guide). MERIS data were converted to ERDAS Imagine format using programs BEAM and ENVI. The image covers the whole territory of investigation and areas far from the boundaries of research regions. Therefore, after the geometric correction the MERIS data were cut for territory of North and West Ukraine within coordinates 22o 20’ and 31o 00’ E and 47o 45’ and 56o30’N. Thus, the west and north limits of the investigated territory are in fact boundaries of Ukraine.

The following satellite images were used for comparison with MERIS data:

* The NOAA/AVHRR imagery (resolution 1.1 x 1.1 km2 ), acquired on 15 April 2004, well-known sensor, 5 spectral band. The AVHRR data have similar to MERIS (RR) data resolution but significantly less number of spectral band in zones VIS and NIR but have thermal- infrared bands. The AVHRR data as MERIS have been cut for the area of investigation.
* The images of TERRA/MODIS with medium resolution 250 m for bands 1 and 2 (600 – 900 nm), and

500 m for bands 3 to 7 (400-2100 nm) were used. Images recorded on April 15, 2004 and covered whole territory of research. For MODIS image with 250 m resolution the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) has been calculated and was used as addition layer of image for further data classification.

* The multiband SPOT-XI image with resolution 20 m, acquired on July 14, 1998 (1 to 4 spectral bands 500 – 1700 nm) was used. The image covers the territory of test polygon N1 within the Chernobyl Exclusion Zone (Ukrainian Polesje, North of Kiev oblast). The SPOT XI high resolution image data have been used as reference for estimation of accuracy of classification of coarse and medium resolution images within the test polygon.
* The Landsat-7/ETM image (in 7 spectral bands: 1 - 450 - 520 nm (Blue); 2 - 520 -600 nm (Green); 3 - 630 -690 nm

(Red); 4 - 760 -900 nm (NIR); 5 - 1550 -1740 nm (SWIR-1);

6 - 10400 - 12500 nm (Thermal); 7 - 2080 - 2350 nm

(SWIR-2)), recorded on May 5, 2000. The image overlapping the test polygon N2 in Carpathian region (within Carpatian national natural park (South of Ivano- Frankovsk oblast). The quality of image is good with cloud cover not exceeding 2 %. The image was used as reference data within test polygon similar to SPOT XI image.

The standard Forest Inventory data structured according to forest districts and administrative areas have been used as ground truth data for classification of satellite images. Forest Inventory data include information about tree species composition, age, height origin, site index and relative stocking etc. for relatively homogenous area (Primary Inventory Units). This data in GIS format located within 2 test polygons (N1 and N2) mentioned before were used in this study . Their spatial and attribute data were updated to 1996. The number of Primary Inventory Units within each of the test polygon generally exceeds several hundred units.

The classification of images have been carried out using

the modules of ERDAS Imagine program. As a first step , the analysis of spectral brightness was performed for the classification of the images with the purpose to construct maps of vegetative community distribution using ERDAS Imagine software. This study utilised supervised training and classification. The result of the training process was a set of signatures for the selected classes. Spectral characteristics for separate forest vegetation species and different landscapes were analysed using approximately four or five test sites within area for every class. This test sites or AOI (area of interest) were similar for every image.

The minimum-distance decision rule for classification of TERRA/MODIS, NOAA/AVHRR ? ENVISAT/MERIS

images was applied in this stage of study, because AOI sometimes cover only 1-2 pixels of images. However, the Maximum Likelihood decision rule have been used for classification of SPOT XI and Landsat-7 images to obtain more accurate reference data for comparison. Reliability of the given high resolution images classification for main classes is usually more then 85 – 95 % according our investigations.

### RESULTS AND DISCUSSION

* 1. **The results of images classification within Chernobyl test polygon**.

The forests of the Zone had been planted mainly after 1945, among them the pine woods prevail. After the Chernobyl accident the structure of land use of the Exclusion Zone has changed strongly. The reforestation on the former farmland, the changes in forests structure are marked, the forests are weakened by influence of the radiation, fires, winds, wreckers etc.

For classification of images the objects for training included all selected classes of a vegetative cover, which were chosen on the basis of forests inventory works within the investigated territory. In total about 250 test sites were used (Lyalko, Nilsson, Sakhatsky, McCallum et. al. 2005). Except of forests vegetation species the elements of the landscape occupying significant areas - water surface, industrial plots of Chernobyl NPP, settlements, sandy dams etc. were applied as test sites for class’s signature identification. The results of classification are shown on figure 1.

Table A. shows the results of classification in %.

Table A. Results of images classification within Chernobyl test polygon

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| \*Land  cover | MERIS  (RR)  for Area  1758 sq. km  % | AVHRR  for area  1742 sq. km  % | MODIS 500m  for area 1697  sq. km  % | MODIS 250m  for area 1686  sq. km  % | SPOT  for area  1660 sq. km  % |
| 1 | 15,5 | 11,0 | 24,6 | 27,6 | 33,5 |
| 2 | 33,6 | 31,4 | 30,2 | 16,3 | 27,8 |
| 3 | 10,3 | 11,6 | 13,1 | 15,5 | 10,2 |
| 4 | 35,6 | 36,1 | 29,0 | 32,8 | 15,7 |
| 5 | 3,8 | 8,3 | 2,0 | 6,0 | 9,6 |
| 6 | 1,2 | 1,6 | 1,1 | 1,8 | 2,8 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,4 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| \*1 – coniferous forests; 2 – deciduous forests; 3 – mixed forests; 4 – long-fallow land; 5 – built-up areas; 6 –  water; 7 - clouds | | | | | |

The comparison shows that on coarse resolution data the coniferous forests (pine) are better estimated using ENVISAT/MERIS data then AVHRR data within the Chernobyl test polygon. The mixed forests are overestimated by NOAA/AVHRR. However, the forests (coniferous and diciduous) are underestimated and the meadows, long-fallow lands, burned areas and other grasslands are overestimated by the coarse and medium resolution images processing in compare with high resolution SPOT XI classification. The classification of MODIS (500m) shows most satisfactory results for forests estimation.

### Results of classification within Carpathian test polygon

The investigated territory is dominated by heterogeneous coniferous forests with a prevalence of spruce. The pine and diciduous forests (mainly beech and alder) in some sites occupy significant territory.

The classification of the images was carried out as was

described in section 2 and 3.1. the Landsat-7 /ETM image (May 05, 2000 have been used as reference similar to SPOT XI image for Chernobyl test polygon.

The figure 2 and table B show the results of minimum- distance classification of images.

The results of classification for Carpathian test polygon show similar relations observed for Chernobyl test polygon.

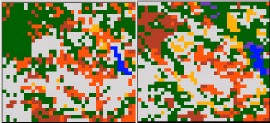
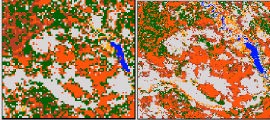
 A B C D

Figure 1. Results of minimum-distance classification based on MERIS image (April 16th , 2004) – A, AVHRR image (April 15th , 2004) - B, MODIS (500m) – C and MODIS (250 m) –D (April 15th , 2004) for Chernobyl test polygon Legend: coniferous forests -red; deciduous forests – dark green; mixed forests - brown; long-fallow land – light gray; built-up areas - orange; water – blue.

The difference is found only for NOAA/AVHRR classification which in general very good estimate coniferous forests and practically match with Landsat- 7/ETM classification result. But for another classes the results are worse. As in Chernobyl test polygon the deciduous forests, grassland, cutting downs, arable lands are overestimated by MERIS and MODIS images classification and the coniferous forests are underestimated in compare with classified Landsat image. MODIS (500) data in general show better result as within Chernobyl test polygon.

## Table B. Results of images classification within Carpathian test polygon

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| \*Land  cover | MERIS  (RR)  For Area  12549 sq. km  % | AVHR R  For area  12414 sq. km  % | MODIS  500m  For area  12375 sq. km  % | MODIS 250m  For area 12312  sq. km  % | Landsat  For area  12284 sq. km  % |
| 1 | 19,6 | 29,8 | 24,1 | 14,2 | 29,4 |
| 2 | 25,2 | 17,9 | 23,2 | 23,9 | 21,8 |
| 3 | 43,3 | 45,5 | 43,4 | 53,1 | 37,4 |
| 4 | 6,9 | 2,67 | 2,5 | 5,4 | 6,0 |
| 5 | 0,1 | 0,03 | 2,2 | 0,1 | 1,1 |
| 6 | 4,9 | 4,1 | 4,6 | 3,3 | 4,1 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| \*1 – coniferous forests; 2 – deciduous forests; 3 – grassland and arable land; 4 - built-up areas; 5 – water; 6 – snow; 7 - clouds | | | | | |

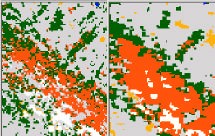
A B C D

Figure 2. Results of minimum-distance classification based on images: MERIS - A, AVHRR –B, MODIS (500) – C, MODIS (250m) – D for Carpathian test polygon Legend: coniferous forests -red; deciduous forests – dark green; grassland and arable land – light gray; built-up areas - orange; water – blue; snow – white.

### 3.3 Results for territory of North and West Ukraine

The minimum-distance decision rule for classification of coarse and medium resolution images within whole territory of North and West Ukraine was applied for evaluation of coniferous and deciduous forests spreading. The table C shows the results of classification. Main confusion occurred between deciduous forests and grassland and arable lands on MERIS classification (Figure 3) according the topographic maps and results of classification of another images. This confusion can be explained by similarity of spectral signatures and mentioned also in paper (Clevers et al., 2005).

## Table C. Results of images classification within

North and West Ukraine

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| \*Land cover | MERIS (RR)  For area  227670 sq. km  % | AVHRR  For area  226196 sq. km  % | MODIS 500m  For area 224945  sq. km  % | MODIS 250m  For area 219812 sq. km  % |
| 1 | 6,3 | 4,1 | 8,5 | 6,5 |
| 2 | 31,9 | 22,4 | 18,9 | 21,2 |
| 3 | 52,9 | 66,5 | 65,1 | 65,0 |
| 4 | 7,9 | 5,6 | 6,3 | 6,2 |
| 5 | 0,6 | 1,0 | 0,8 | 0,8 |
| 6 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 |
| \*1 – coniferous forests; 2 – deciduous forests; 3 –  grassland and arable land; 4 - built-up areas; 5 – water; 6 – snow | | | | |

Taking into account the results within test polygons it is expected that the most accurate result was obtained on the

base of MODIS (500) classification with little bit underestimation of coniferous forests and overestimation of deciduous forests as well as grasslands and arable lands.

The forests occupy approximately 30 % of investigated area. However, for whole territory of Ukraine this relation is much less taking into account that the research area contain about 75 –80 % of Ukrainian forest fund.

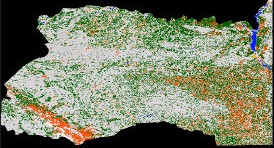
A B

Figure 3. Results of minimum-distance classification based on images: MERIS - A, MODIS (500) – B, for North and West Ukraine Legend: coniferous forests - red; deciduous forests – dark green, grassland and arable land – light gray;

built-up areas - orange; water – blue; snow – white.

### CONCLUSIONS

The classification of images with different spatial and spectral resolution Landsat-7\ETM , SPOT XI, TERRA/MODIS, NOAA/AVHRR, ENVISAT/MERIS have

been carried out within Chernobyl test polygon, Carpathian test polygon and for territory of North and West Ukraine.

As a result of the researches the areas occupied by coniferous, deciduous and mixed forests were specified within the limits of investigated regions. The changes in different kinds of vegetation spreading were observed that is necessary for an estimation of an ecological condition of territory and carbon cycle assessment.

The comparison of results of classification have been done for evaluation of accuracy of estimation of classes of coniferous, decidius forests, grasslands, arable lands, built- up areas etc. on the base of coarse, medium and high resolution data to improve methodology of land cover mapping and monitoring on regional and global levels.

This study should be considered as preliminary results for classification of investigated area using images with different spatial and spectral resolution and especially MERIS reduced resolution data. Future studies should plan investigation of full resolution MERIS data for forests state monitoring taking into account that spatial resolution and spectral resolution is a key factor for the results as it was shown. Also the analysis of multitemporal MERIS data should be wide sphere for research.

1. **REFERENCES**

## J.G.P.W. Clevers, H.M. Bartholomeus, C.A. Mucher .& A.J.W. de Wit, “ Land covers classification with the Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS)”. In New Strategies for European Remote Sensing, Oluic (ed.) Millpress, Rotterdam, ISBN 90 5966 003 X , p.p.687-694 , 2005.

1. V. I. Lyalko, S.Nilsson, A. I. Sakhatsky, A.Shvidenko, J.McCallum, A. Ja. Hodorovsky & O.

G. Harechko, “ Earth observation of Ukraine and

Siberia for an estimation of their state, fire risk and carbon cycle,”, In New Strategies for European Remote Sensing Oluic (ed.) Millpress, Rotterdam, ISBN 90 5966 003 X , p.p. 269-277 , 2005.

MERIS USER GUIDE. [http://envisat.esa.int](http://envisat.esa.int/) / dataproducts /meris /CNTR1.htm.