

## ЕФЕКТ РЕЛЬЄФУ МІСЦЕВОСТІ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ ЛІСІВ

д.ф.-м.н. В.К. Іванов, к.ф.-м.н. О.М. Стадник, к.ф.-м.н. С.Є. Яцевич,  
О.С. Васильєв, Л.О. Єгорова, О.І. Яцевич  
(Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України)

*Проведено аналіз даних, отриманих при дистанційному зондуванні з борту літака в широкому діапазоні частот радіолокаторами бічного огляду. Здійснено класифікацію лісів на тестових полігонах, вивчено вплив рельєфу місцевості на отримані дані.*

**Вступ.** На даний час намічається тенденція до розширення застосування радіолокаційних зйомок у лісовому господарстві. Їхня перевага полягає в тому, що вони можуть проводитися в різний час доби і відносно незалежно від погодних умов. Радіолокаційні зйомки здійснюються в діапазоні хвиль електромагнітного спектра від сантиметрів до метрів. Вони здатні описувати геометричні характеристики поверхні, вологість ґрунту, і що особливо важливо, мають стійкість до перешкод гідрометеорів [1 – 4]. Фізичною основою радіолокаційних зйомок є використання відображення зондувальних сигналів, випромінюваних передавачем РЛС від різних об'єктів на земній поверхні. Точність відображення об'єктів, що знімаються, на радіолокаційних знімках залежить від розподільчої здатності і стабільності роботи станцій. Для радіолокаційних зображень характерні тіні, що залежать від кута нахилу зондувальних променів, рельєфу місцевості і висоти об'єктів. Тіні дозволяють одержати зорове сприйняття ландшафтів на одиночних радіолокаційних знімках у вигляді об'ємної моделі [5]. Аерокосмічні радіолокаційні методи використовуються для вивчення лісових територій (розпізнавання кількісних і якісних характеристик), виявлення лісових пожеж і рішення ряду інших задач. Космічні радіолокаційні знімки, що мають велику смугу огляду і високу оперативність, вимагають застосування автоматизованих методів обробки інформації. Основними задачами автоматизованого дешифрування аерокосмічних знімків є розпізнавання об'єктів і визначення їхніх чисельних характеристик.

Наявні розходження у властивостях лісу, що відбивають, і зміна цих властивостей під впливом різних факторів, дозволяє використовувати їх для спостереження. Аналізуючи сигнали, відбиті від лісових масивів і відтворені на радіолокаційному зображенні, його структуру, що відображає

угруповання рослин, конфігурацію однорідних ділянок зображення, можна розрізнити види лісової рослинності, її границі, щільність, поразку хворобами, пожежами і т.д. [2 – 3]. При цьому повинні зважуватися наступні задачі: планування аерокосмічних зйомок і наземних обстежень; комплексна тематична обробка аерокосмічної і наземної інформації; розробка й удосконалювання технологій і методів, технічної бази одержання, інтерпретації й обробки аерокосмічної інформації.

**Розпізнавання лісів і вплив рельєфу місцевості на дешифрування радіолокаційних зображень.** Для відпрацювання методик дешифрування характеристик лісових масивів по аерокосмічних радіолокаційних зображеннях в ІРЕ НАНУ був проведений експеримент на території лісгоспів Харківської області. У лісовому фонді Скрипаївського лісництва домінують соснові насадження, що виростають у свіжих сосново-дубових суборах і судібровах на дернових супіщаних і піщаних ґрунтах. Ліса Мохначанського лісництва представлені, в основному дубовими насадженнями, що виростають у свіжих дібровах на сірих лісових ґрунтах.

У процесі досліджень вивчені лісові та таксаційні характеристики насаджень. Проведено визначення складів порід, повнот, висот, діаметрів, запасів та інших показників. Для детальних досліджень і наступного дешифрування було відібрано шість однорідних ділянок площею до 50 га. В якості тестових об'єктів на полігоні були підібрані ділянки, що дозволяють максимумно охопити породний склад, віковий ряд, умови місцезростання. У вимірах приймали участь фахівці УкрНДЛГА. Радіолокаційні зображення отримані багаточастотним радіолокатором бічного огляду «МАРС» авіаційного базування (0,8 см, 3 см, 23 см, 180 см) [6]. Як метод обробки отриманих зображень використаний метод визначення стану лісів з використанням аналітичної апроксимації відносин правдоподібності [7].

Запропонована методика дешифрування дозволяє визначити правило класифікації, що має найкращу якість (мінімальний рівень імовірності помилок) при наявних на практиці обмеженнях.

При роботі з цієї методики використовувалися тільки типи лісу, без їхніх детальних характеристик. Були відібрані ділянки з однорідним лісостоем (дуб, сосна). На даному етапі досліджень були обрані наступні ділянки соснових і дубових насаджень: сосна (45 – 50 років), дуб1 (100 – 120 років), дуб2 (170 років). Результати надані на рис. 1, де представлені імовірності правильного розпізнавання (ІПР) для контрольних ділянок у сантиметровому діапазоні радіохвиль. Встановлено, що ділянки соснових насаджень не розрізняються між собою. Не розділяються також і ділянки дубових насаджень і дубово-ясеневих одного віку, де ІПР знаходиться на рівні 0,6. Краще розрізняються (ІПР = 0,7) дубові насадження різного віку, що істотно відрізняються

лісо-таксаційними показниками. Найбільше істотно розділяються між собою (ІПР близько 1) ділянки соснових і дубових насаджень.

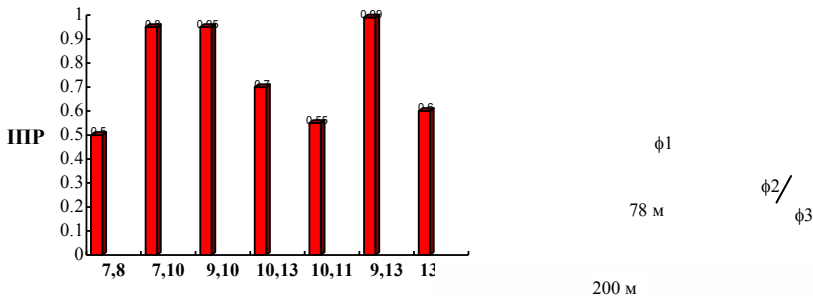
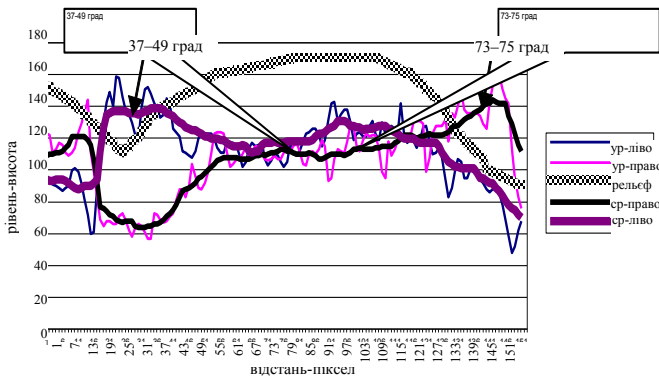


Рис. 1. Визначення якості розпізнавання лісів

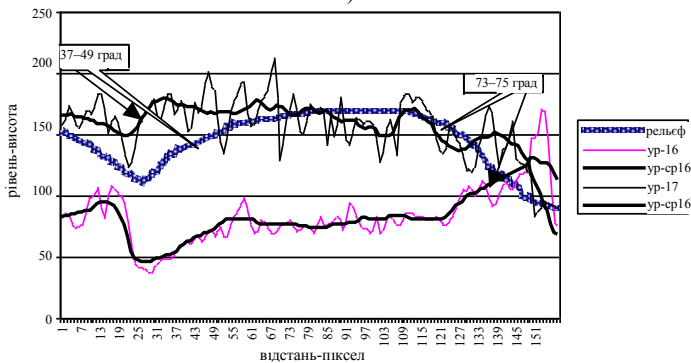
У формуванні радіолокаційних зображень в основному рельєф і рослинність, озображенні використані для дешифрування зображеннями на знімках інших комп'ютерних забезпечується вивченням на полігоні типовими ознаками ландшафтів і різні які не реєструються на радіозображеннях. Досліджуваній у проведених експериментах дубовий ліс Мохначевського лісгоспу починається на Південь – Захід від м. Чугуєва в напрямку на Схід від вододілу р. Сіверський Донець і розташований на горбкуватій місцевості з перепадами висот до 70 – 90 метрів, кутами узвишся від 0 до 10 – 15° і довжиною схилів на напівкілометра і більш. Район спостерігався з висоти польоту 7000 м під кутами 35 – 70° від надіра. Схема умов спостереження показана на рис. 2.

У процесі дешифрування радіолокаційних зображень було встановлено, що форма рельєфу місцевості на поверхні, покритій листяними лісами, досить впевнено спостерігається на радіолокаційних зображеннях у всіх частотних діапазонах. Схили пагорбів, звернених до напрямку випромінювання, вносять перекручування, як в амплітуду відбитого сигналу, так і в геометрію побудови радіолокаційного зображення.

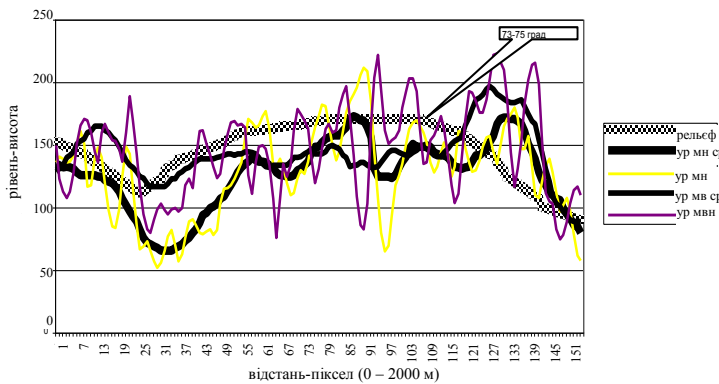
Ці ефекти, у першу чергу, залежать від крутості схилу і його довжини, що призводить до зміни умов розсіювання радіохвиль у залежності від кутів зустрічі радіосигналу і досліджуваної поверхні (коефіцієнт кореляції 0.3 – 0.45). Протилежний опроміненню схил пагорба не вносить значних перекручувань і досить добре корелює (0.8 – 0.85) із прийнятим відбитим від поверхні сигналом ( $\phi_1$ ). На рис. 3 представлені рядкові розрізи сигналів у



а)



б)



в)

Рис. 3. Профіль рельєфу місцевості і відбитого сигналу в сантиметровому (а), дециметровому (б) та метровому (в) діапазоні хвиль

різних діапазонах радіохвиль і на різних кутах спостереження, а також відповідний профіль рельєфу місцевості.

На рис. 3 представлені, крім профілю рельєфу місцевості, відповідні рядки і їхні усереднені значення для опромінення пагорба з двох різних напрямків і під різними кутами опромінення. Чітко виділяється сплеск сигналу і його просторова деформація на схилах звернених до напрямку опромінення, і досить гарна відповідність на схилах, протилежного напрямку. Даний ефект зберігається як на початку смуги огляду, так і в її кінці.

**Дистанційні дослідження лісів у НВЧ діапазоні радіохвиль.** Радіолокаційний сигнал, відбитий рослинними покривами при дистанційному зондуванні поверхні, містить складові, обумовлені як рослинністю, так і поверхнею ґрунту [8 – 10]. Для зменшення впливу шорсткості і вологості ґрунту звичайно вибирається робоча частота радіолокаційного сигналу вище 8 ГГц [11]. Досить ефективним прийомом мінімізації впливу ґрунтового покриву є зондування поверхні під різними кутами. Як відомо, інтенсивність відбитого сигналу для хаотичної і переважно горизонтальної орієнтації відбивачів (ґрунт) плавно спадає зі збільшенням кута візування. Якщо відбивачі мають переважно вертикальну орієнтацію (рослинність) то УЕПР збільшується з ростом кута візування [8].

Проведені нами дослідження за допомогою даних, отриманих багаточастотним радіолокаційним комплексом MAPS IPE НАНУ [6], показали високу мінливість значень коефіцієнтів кореляції УЕПР при різних кутах візування від покриття і висоти рослинності, а також від вологості і діелектричної проникності ґрунтів. При великих кутах візування (більш 45°) спостерігається лінійна залежність між властивостями рослинного покриву (проективне покриття і висота рослин) та інтенсивністю відбитого сигналу. Для ґрунтових характеристик властива зворотна залежність – найбільш тісні зв'язки відзначені при кутах візування 30 – 35°.

Лісові масиви відрізняються від земель сільськогосподарського призначення й іншими нелісовими площами значною дисперсією і великим середнім значенням сигналу. Найбільш світлий тон зображення (великі рівні сигналу) відповідає листяним насадженням, а більш темний – хвойним.

У процесі досліджень вивчені характеристики лісових насаджень. На тестових полігонах (шість однорідних ділянок площею до 50 га, які максимально охоплюють породний склад, віковий ряд, умови місцезростання) сумісно з фахівцями УкрНДІЛГА визначені основні лісові показники. У лісовому фонді досліджуваного Скрипайвського лісництва домінують соснові насадження, що виростають у свіжих сосново-дубових суборах і судібровах на дернових супіщаних і піщаних ґрунтах. Ліси

Мохначанського лісництва представлено, в основному, дубовими насадженнями, що виростають у свіжих дібровах на сірих лісових ґрунтах.

У табл. 1 представлені деякі статистичні характеристики інтенсивностей відбитих від досліджуваних лісових масивів сигналів у різних діапазонах хвиль (кількість елементів, мінімальні і максимальні значення сигналу, його середні значення і дисперсії), отриманих після обробки радіолокаційних зображень тестових ділянок. Розпізнавання типів лісу проводилося за методом Уорда. Результати кластерного аналізу представлені на дендрограмах рис. 4.

Обробка показала, що для всіх діапазонів об'єкти розділяються на хвойний і дубовий ліс (xv – хвойний, dub – дубовий). Причому для дубового лісу в дециметровому діапазоні відбувається поділ дубового лісу на 2 класи в залежності від кута опромінення (D16 – 35°, D17 – 70°), а в метровому діапазоні така ж ситуація спостерігається для різних поляризацій радіолокатора (MV – вертикальна, MH – горизонтальна). Хвойний ліс у всіх діапазонах і на різних кутах та поляризаціях відноситься до одного класу.

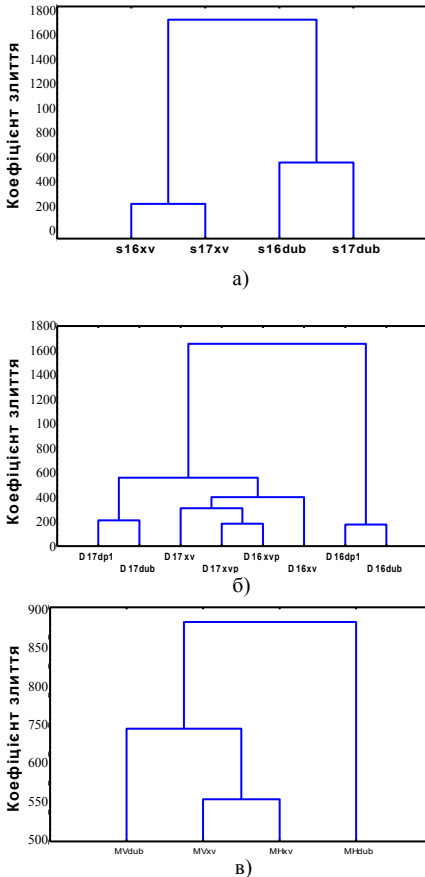


Рис. 4. Розпізнавання типів лісу за даними см (а), дм (б), метрового (в) діапазонів радіохвиль

Для оцінки точності розпізнавання рослинності таї лісів використаний критерій  $\chi^2$ . Отримана класифікація достовірна при 90% рівні імовірності.

**Висновки.** Проведені дослідно-методичні роботи показали, що радіолокаційне зондування може використовуватись для рішення задач дистанційного моніторингу лісів. Розроблена методика дешифрування дозволяє розділяти лісові ділянки з різними лісо-таксаційними показниками.

Дешифрування радіолокаційних зображень дозволило виявити наступне: хвойні і листяні насадження добре розділяються між собою; дубові насадження віком 110 і 170 років розділяються з імовірністю 0,7.

## Статистичні характеристики сигналів, відбитих від лісових масивів

	Тип	Кіл.	Середнє	Min	Max	Std.Dev.
РБОЗсм	Дуб.	399	96.8922	46.0000	189.0000	20.77339
РБОЗсм	Хв.	399	73.6541	46.0000	143.0000	11.90269
РБОЗсм	Хв.	169	76.4911	56.0000	94.0000	8.11166
РБОЗсм	Дуб.	399	97.3083	46.0000	173.0000	18.16418
РБОЗсм	Хв.	399	69.8045	46.0000	122.0000	9.69623
РБОЗсм	Хв.	189	68.8201	55.0000	88.0000	6.23472
РСА23см	Дуб.	299	83.0736	53.0000	122.0000	14.90939
РСА23см	Хв.	399	124.1153	64.0000	183.0000	23.65352
РСА23см	Хв.	249	126.9719	103.0000	170.0000	11.80193
РСА23см	Дуб.	399	150.7895	105.0000	205.0000	16.46943
РСА23см	Хв.	249	141.7108	73.0000	205.0000	23.12808
РСА180 ГГ	Дуб.	399	128.6591	63.0000	208.0000	24.52522
РСА180 ГГ	Хв.	299	159.2107	92.0000	198.0000	19.90462
РСА180 ВВ	Дуб.	399	155.1955	74.0000	231.0000	29.78966
РСА180 ВВ	Хв.	299	168.8361	97.0000	237.0000	27.91796
РБО 8мм	Дуб.	129	117.6744	103.0000	136.0000	6.89901

Для більш точних оцінок стану лісів потрібно також подальша доробка методики, проведення досліджень по пошуку інших ознак зображень лісових об'єктів.

При дешифруванні радіолокаційних зйомок у різних діапазонах хвиль необхідно для адекватного розпізнавання враховувати рельєф місцевості. Для цього необхідно провести додаткові експерименти з метою встановити стійкі статистичні зв'язки між просторовими характеристиками рельєфу поверхні з відбитим від нього сигналом під різними кутами спостереження.

*Дослідження, представлені в публікації, виконані при частковій підтримці ДФФД України за планами роботи з проекту № Ф7/354-2001.*

## ЛІТЕРАТУРА

1. Иванов В.К., Можжев А.А., Силин А.О., Яцевич С.Е., Яцевич Е.И. Экспериментальные исследования взаимосвязи обратного рассеяния радиоволн с параметрами почвогрунтов при многочастотных методах радиолокационного зондирования // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 3(19). – С. 265 – 267.
2. J. Dong, R.K. Kaufmann, R.B. Myneni, C.J. Tucker, P.E. Kauppi, J. Liski, W. Buermann, V. Alexeyev, M.K. Hughes Remote sensing estimates of boreal and

- temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks // Remote Sensing of Environment. – 2003, Mar. – Vol. 84, Issue 3. – P. 393 – 410.*
3. *Fraser Gemmell, Jari Varjo, Mikael Strandstrom and Andres Kuusk Comparison of measured boreal forest characteristics with estimates from TM data and limited ancillary information using reflectance model inversion, Volume 81, Issue 2 – 3, August 2002. – P. 365 – 377.*
  4. *Яцевич С.Е., Иванов В.К., Яцевич Е.И., Шатохин А.В. Особенности применения многочастотной радиолокационной информации при дистанционных исследованиях аграрных территорий // Космічна наука і технологія. – 2002. – Т. 6, № 5/6. – С. 263 – 270.*
  5. *Сошин Б.А., Журинов В.М. К вопросу применения радиолокационной съемки для изучения лесов // Лесоустройство, таксация и аэрометоды. Сб. трудов ЛенНИИЛХ. – Л., 1975. – Вып. 22.*
  6. *Калмыков А.И., Цымбал В.Н., Курекин А.С. и др. Многоцелевой радиолокационный комплекс исследования Земли “МАРС” // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т. 3, № 2. – С. 119 – 129.*
  7. *Волосюк В.Г. Автореферат дис. канд. техн. наук. – Х., 1993. – 155 с.*
  8. *Ulaby F.T., Baltilava P.P., Dobson M.C Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture, and soil texture. Part 1 –Bare soil // IEEE Trans. Geosci. Electron. – 1983. – V. 16, № 4. – P. 286 – 295.*
  9. *Ulaby F.T., Aslam A., Dobson M.C. Effects of vegetation cover on the radar sensitivity to soil moisture. // IEEE Trans. Geosc. Remote Sens. – 1982. – 20. – № 2. – P. 476 – 481.*
  10. *Hallikainen M. T., Ulaby F. T., Dobson M. S., El-Rayes, Lin-Kun Wu. Microwave dielectric behavior of Wet soil // IEEE Trans. Geosc. Remote Sens. – 1985. – 23. – № 1. – P. 25 – 34.*
  11. *Улаби Ф.Т. Радиолокационные сигнатуры земной поверхности и контроль возобновляемых ресурсов // ТИИЭР. – 1982. – Т. 70, № 12. – С. 43 – 64.*

Надійшла 14.10.2003

**ІВАНОВ Віктор Кузьмич**, доктор фіз.-мат. наук, снс, зав. від. ІРЕ НАНУ. Область наукових інтересів – дистанційне зондування Землі з аерокосмічних носіїв, радіолокація, радіотеплокація, обробка інформації. E-mail: [ivanov@ire.kharkov.ua](mailto:ivanov@ire.kharkov.ua) .

**СТАДНИК Олександр Михайлович**, канд. фіз.-мат. наук, снс ІРЕ НАНУ. Область наукових інтересів – дистанційне зондування Землі з аерокосмічних носіїв, радіолокація, радіотеплокація, обробка інформації. E-mail: [ostadnyk@ire.kharkov.ua](mailto:ostadnyk@ire.kharkov.ua) .

**ЯЦЕВИЧ Сергій Євгенович**, канд. фіз.-мат. наук, нс ІРЕ НАНУ. В 1981 році закінчив ХДУ. Область наукових інтересів – дистанційне зондування Землі з аерокосмічних носіїв, радіолокація, радіотеплокація, обробка інформації. E-mail: [sey@ire.kharkov.ua](mailto:sey@ire.kharkov.ua) .

**ВАСИЛЬЄВ Олександр Сергійович**, інженер ІРЕ НАНУ. В 2001 році закінчив ХНУ. Область наукових інтересів – математичне моделювання, дистанційне зондування Землі.

**ЄГОРОВА Любов Олексіївна**, інженер ІРЕ НАНУ. В 1986 році закінчила ХАІ. Область наукових інтересів – математичне моделювання, дистанційне зондування Землі.

**ЯЦЕВИЧ Олена Ігорівна**, мол. наук. співр. ІРЕ НАНУ. В 1998 році закінчила ХНУ. Область наукових інтересів – дистанційне зондування Земних покривів радіофізичними методами, дослідження резонансів. E-mail: [yal@ire.kharkov.ua](mailto:yal@ire.kharkov.ua) .