ФОТОГРАММЕТРІЯ І ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ

УДК 528.94+911.2

І.С. Круглов, Т.І. Божук

ГЕОЕКОЛОГІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ УКРАЇНСЬКОГО МАРМАРОШУ ЗА КОСМІЧНИМ ЗОБРАЖЕННЯМ ASTER VNIR

Актуальність теми. Спектрозональні космозображення земної поверхні високої геометричної роздільної здатності (30 м та дрібніше), що їх отримують з так званих ресурсних супутників Землі (Landsat, SPOT, IRS, Terra, Ikonos), є тепер основним джерелом даних для картографування та моніторингу наземного покриву (рослинності, техногенних утворень, відкритого ґрунту, водних поверхонь) на значній площі [9]. При цьому одним із актуальних питань залишається підвищення точності й надійності класифікації (автоматизованого дешифрування) цифрових космозображень, генерованих різноманітними сенсорами, встановленими на ресурсних супутниках [21].

Важливе загальнонаукове та господарське значення має застосування дистанційних методів для картографування і моніторингу рослинного покриву Українського Мармарошу, оскільки цей регіон відзначається надзвичайно високим різноманіттям та унікальністю (у порівнянні з рештою територій України) природних умов, відносно слабкою природно-географічною вивченістю, а також доволі напруженим конфліктом між заповідно-рекреаційним та інтенсивним лісогосподарським землекористуваннями, які тут тісно співіснують [20].

Попередній досвід. Традиційний підхід до цифрової обробки космозображень, який базується виключно на аналізі спектральних властивостей найдрібніших гомогенних елементів зображення – пікселів [21], останнім часом збагатився методикою аналізу, яка враховує просторові поєднання пікселів – текстури [11, 22]. Поява цієї методики спричинила виникнення об'єктно-орієнтованого підходу в автоматизованій обробці космозображень [12, 13]. Суть його полягає у сегментації космозображення (групуванні суміжних пікселів) у змістовні географічні об'єкти (ареали) з наступною класифікацією не окремих пікселів, як це прийнято при цифровій обробці дистанційних даних, а цілих ареалів. Для цього створено відповідне програмне забезпечення, яке вже широко застосовується [16].

Крім того, поліпшення результатів класифікації наземних покривів за космозображеннями можливе у середовищі ГІС, коли допоміжні геопросторові дані застосовуються для уточнення попередніх результатів класифікації. Наприклад, для більш точного визначення рослинності використовується цифрова модель рельєфу (ЦМР) та знання про взаємозв'язки рослинності й рельєфу [19]. Такий підхід також можна назвати об'єктно-орієнтованим. Він дещо виходить за межі сфери дистанційного зондування у вузькому розумінні, але є основою просторового екологічного моделювання із використанням космозображень [18].

Втім, ці об'єктно-орієнтовані підходи до класифікації космозображень не є суперечливими, а доповнюють одне одного. Якщо перший підхід є "технічним", тобто визначається переважно процедурою обробки космозображення як такого, то другий значною мірою спирається на додаткову інформацію – інші геопросторові дані та знання про взаємозв'язки компонентів ландшафту, відображеного на знімку. Це дає змогу ефективно використати вже накопичену географічну інформацію. Крім того, цей підхід напряму інтегрує дані дистанційного зондування у ГІС.

Постановка проблеми. Назріло питання розробки методики покращення попередньо класифікованих космозображень на основі допоміжних даних. Вирішувати такі проблеми покликана геоекологія (комплексна функціональна природнича географія) – наука про взаємозв'язки та геопросторову диференціацію компонентів ландшафту [7, 14]. Далі на прикладі території в Українському Мармароші висвітлюється питання застосування геоекологічних знань та даних для покращення результатів класифікації рослинності за високороздільним спектрозональним супутниковим зображенням.

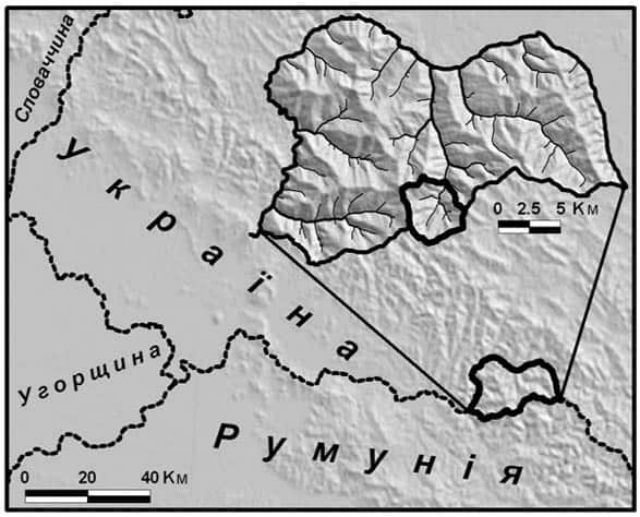
Деякі основні теоретичні положення геоекології. Узагальнюючи ідеї комплексної природничої географії [3, 2, 5, 6, 7, 10, 14] можна стверджувати, що з позицій геоекології ландшафт інтерпретується як геоекосистема, яка охоплює три групи компонентів (властивостей) довкілля – педогеоморфологічну, гідрокліматичну та біотичну. Педогеоморфологічна група об'єднує рельєф та ґрунтовий покрив разом із поверхневими геологічними відкладами (материнською породою ґрунту). Гідрокліматичній групі відповідають компоненти клімату території –

© *І.С. Круглов, Т.І. Божук, 2004*

радіаційний і термальний режими, режим зволоження. Біотичну групу складають угруповання рослин, тварин та мікроорганізмів – біоценоз. Люди й антропогенні компоненти ландшафту розглядаються як аналоги природних компонентів геоекосистеми, зазначені вище.

Властивості геоекосистеми є взаємозумовленими, але нерівнозначними. Найважливішими є педогеоморфологічні компоненти, оскільки вони визначають диференціацію локального клімату та гідрологічних умов, а отже, й просторовий розподіл рослинності та решти компонентів біоценотичного покриву. Звідси випливає, що для уточнення класифікації рослинного (біоценотичного) покриву важливо мати дані принаймні про рельєф та ґрунтовий покрив, а також знання про взаємовідносини рослинності із цими компонентами геоекосистеми.

Територія дослідження. Досліджувана ділянка розташована в межах Українського Мармарошу – природного регіону, який формує південну частину Українських Карпат (мал. 1). Вона обмежується басейном верхньої течії потоку Квасний і має площу 1741 га. Висоти коливаються у межах від 768 до 1937 м при середньому значенні у 1323 м н.р.м., а середній ухил поверхні становить 28°. Наявність осадових (флішу, пісковиків, конгломерато-брекчій, вапняків, доломітів), метаморфічних (плагіогнейсів, сланців) та магматичних (лави) гірських порід зумовлює строкатість материнського матеріалу ґрунту, що у поєднанні з флювіальними, гравітаційними, нівальними та реліктовими гляціальними формами рельєфу створює значне різноманіття умов місцеперебування біотичних угруповань. Тут представлені листяні (бук, вільха, явір), хвойні (смерека, ялиця) та мішані ліси, субальпійські чагарники з гірської сосни, ялівцю та зеленої вільхи, альпійські луки. Людська діяльність призвела до появи вторинних післялісових лук та сукцесійної рослинності різних стадій на місці лісових рубок. Таке різноманіття педогеоморфологічних та фітоценотичних умов робить басейн Квасного ідеальним полігоном для випробування методики геоекологічної інтерпретації дистанційних даних.



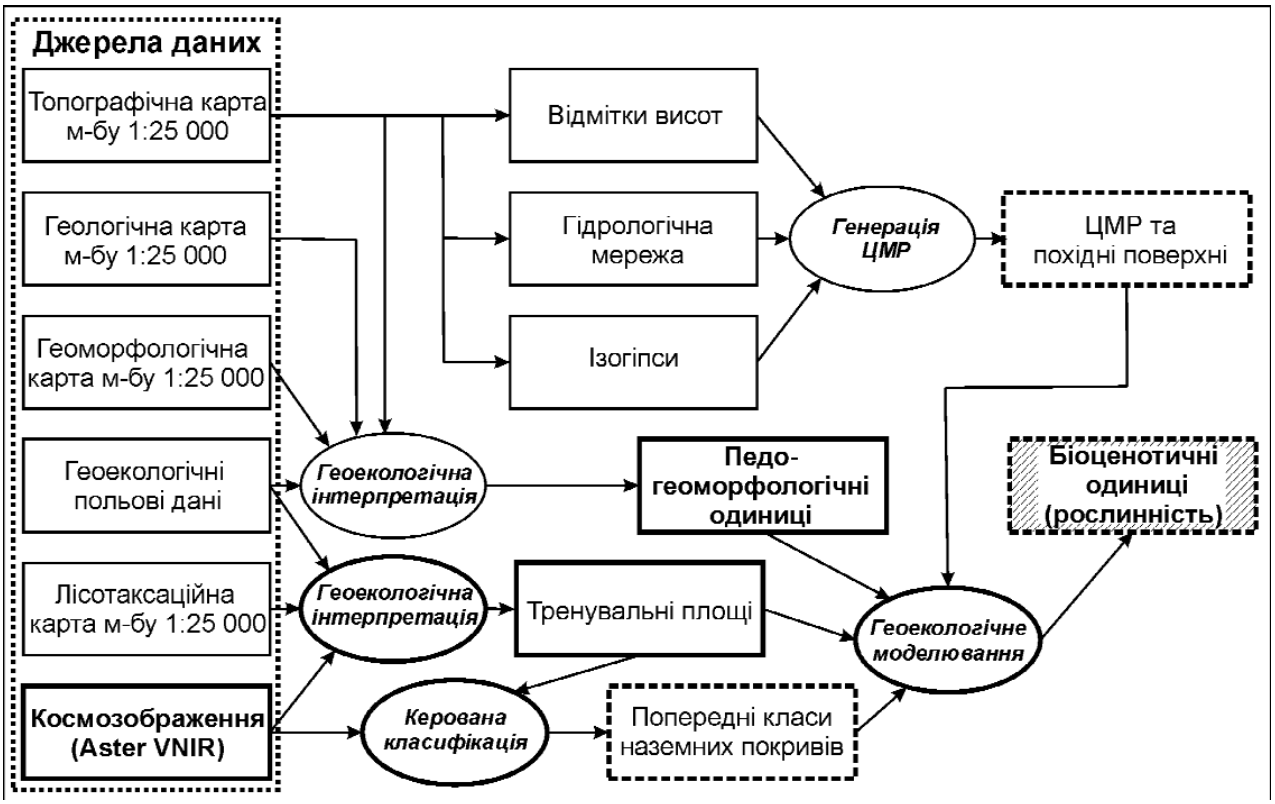
Мал. 1. Місцеположення Українського Мармарошу і території дослідження (обведено жирною лінією)

Матеріали та обладнання. За джерело дистанційних даних ми взяли фрагмент сцени, здобутої надирним телескопом підсистеми VNIR сенсорного комплексу ASTER з ресурсного супутника Terra. Телескоп має три канали: зелений (0,52-0,60 мкм), червоний (0,63-0,69 мкм) та ближній інфрачервоний (0,78-0,86 мкм). Його геометрична роздільна здатність становить 15 м, а рівень дискредитації сигналу – 8 біт [8]. Сцена отримана 28 жовтня 2001 р. о 9 год 37 хв за сонячним часом. Висота Сонця на цей момент становила 28°, а його азимут – 172°. Візуальне обстеження фрагмента сцени засвідчило відсутність хмар та високу різноманітність барв, зумовлену, очевидно, осіннім аспектом рослинності. Разом з тим впадає в око надзвичайно висока затіненість північних схилів, викликана значним вертикальним розчленуванням території та відносно низьким осіннім положенням Сонця.

Як додаткову інформацію використано цифрові топографічні й тематичні геопросторові дані. Топографічні дані представлені векторними шарами автоматизованого фрагмента топографічної карти масштабу 1:25 000 та ЦМР (15×15 м), виготовленої на їх основі. Тематичні дані включають, зокрема, векторний полігонний шар педогеоморфологічних одиниць, побудований на основі геоекологічної інтерпретації топографічної, геологічної та геоморфологічної карт, а також даних польових геоекологічних обстежень. Шар містить атрибутивні дані про геоморфологію, ґрунти та материнські гірські породи. Крім того, використано точковий шар польових геоекологічних обстежень, який несе інформацію про поєднання рельєфу, ґрунту і рослинності у межах 22-х невеликих (20×20 м) ареалів, та скановану геокодовану лісотаксаційну карту [20, 1]. Ці дані, а також опубліковані матеріали геоботанічних досліджень [15, 4] лягли в основу геоекологічних знань, використаних при подальшій інтерпретації космозображення.

Опрацювання даних проводилось за допомогою програмного забезпечення ERDAS Imagine та ArcGIS. Загальну схему опрацювання даних відображено на мал. 2.

Опрацювання даних. Спочатку в середовищі ERDAS Imagine [17] фрагмент сателітної сцени було геокодовано з використанням цифрової топографічної основи та приведено до картографічної проекції решти



Мал. 2. Схема геопросторової бази даних та процесу геоекологічної інтерпретації космозображення

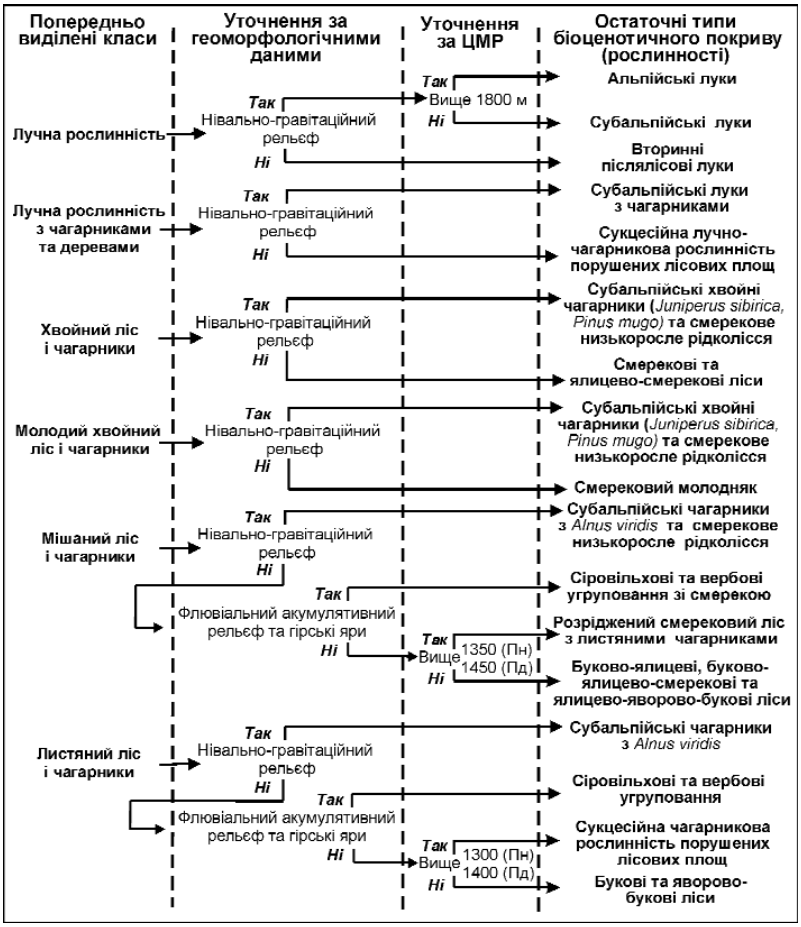
геопросторових даних. У результаті отримано ректифікований фрагмент сцени розміром 361×348 пікселів із величиною пікселя 15×15 м.

На основі даних польових геоекологічних обстежень та лісотаксаційної карти на ректифікованому зображенні було виділено 37 полігонів відносно однорідних пікселів із відомими характеристиками рослинності. Частину з них (20) використано як тренувальні площі для генерації сигнатур (signatures – статистичні спектральні характеристики), за допомогою яких здійснюється автоматизована керована класифікація космозображення. Решту залишили як контрольні площі – для верифікації результатів класифікації.

Тренувальні площі та сигнатури обирали окремо для затінених та незатінених схилів. Зауважимо, що подекуди спостерігалась низька статистична спектральна відокремленість між деякими класами. Наприклад, між хвойним лісом та лучно-чагарниковою рослинністю на затінених схилах. На жаль, незначний розмір космозображення не дає можливості надійного статистичного аналізу точності класифікації. Тому ми використовували контрольні площі та експертні оцінки, які базуються на добрій польовій вивченості ділянки. Шляхом проб та помилок у результаті керованої класифікації за алгоритмом максимальної подібності вдалося виділити шість попередніх класів наземних покривів (див. мал. 3). На дуже затінених ділянках встановити наземний покрив не вдалося.

Подальше опрацювання даних відбувалось у середовищі ArcGIS методом оверлейних операцій [23]. Воно полягало в уточненні результатів автоматизованої класифікації. Для цього залучали геоекологічні знання про територію та допоміжні геопросторові дані – про морфогенез (векторний шар педогеоморфологічних одиниць), а також про висоту над рівнем моря та експозицію (ЦМР). Алгоритм уточнення даних автоматизованої класифікації космозображення наведено на мал. 3. Результуючий геопросторовий растровий шар, який відображує уточнений розподіл рослинності у межах басейну потоку Квасний, було профільтровано для елімінації строкатості, викликаної наявністю незначних осередків (по 1-6 штук) пікселів інших класів. Було також здійснено генералізацію атрибутивних даних – вилучено типи біоценотичного покриву з незначним площинним представленням. У результаті виготовлено тематичний геопросторовий шар біоценотичного покриву (рослинності) ділянки дослідження (мал. 4).

Висновки і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі. Результати наших досліджень засвідчують в цілому високу перспективність геоекологічного підходу до уточнення результатів автоматизованої класифікації зображення ASTER VNIR гірської території. Створений алгоритм геоекологічної



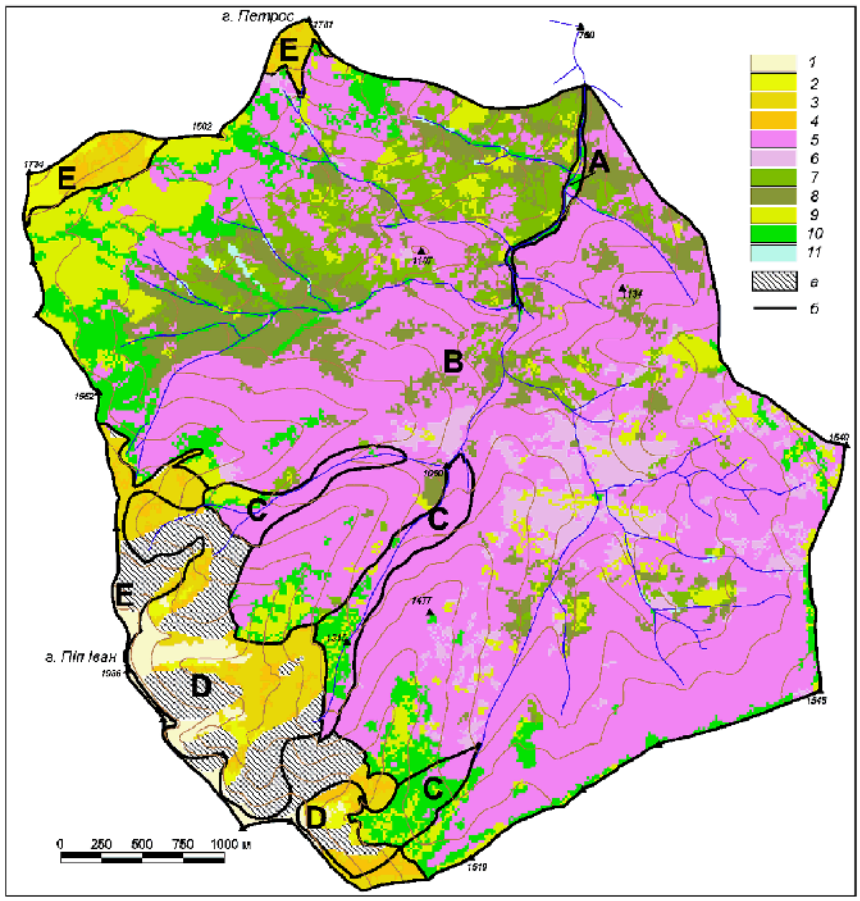
Мал. 3. Алгоритм геоекологічної інтерпретації результатів автоматизованої класифікації космозображення

інтерпретації даних автоматизованої класифікації космічного зображення може бути застосований для дослідження території усього Українського Мармарошу, а також (з деякими корекціями) інших гірських регіонів. Проте незначний розмір фрагмента сцени, що опрацьовувався, не дає змоги провести достовірну статистичну оцінку точності класифікації та її геоекологічної інтерпретації. Тому для отримання надійніших висновків необхідно провести подібні дослідження на більшій території. Перспективним є залучення даних топокліматичного геопросторового моделювання як додаткового джерела геоекологічної інформації. Цікавим буде також порівняння результатів геоекологічної інтерпретації космозображень різної спектральної та геометричної роздільної здатності, зокрема Landsat TM (ETM+), Terra ASTER VNIR і SWIR та Ikonos.

Подяки. При дослідженні було використано матеріали Лабораторії ГІС Ягеллонського університету в Кракові (Польща) та комп'ютерне устаткування німецько-українського дослідного проекту "Дністер".

Література

1. *Божук Т.* Використання ГІС при аналізі хвойних лісів у басейні потоку Квасний (Український Мармарош) // Геодез., картогр. і аерофотознім.: Міжвід. наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 63. – С. 188-193.



Мал. 4. Басейн потоку Квасний: актуальний біоценотичний (рослинний) покрив

Умовні позначення: *1* – альпійські луки; *2* – субальпійські луки; *3* – субальпійські луки з чагарниками; *4* – субальпійські чагарники та смерекове низькорослe рідколісся; *5* – смерекові та ялицево-смерекові ліси; *6* – смерековий молодняк; *7* – букові та яворово-букові ліси; *8* – мішані (буково-ялицеві та ін.) ліси; *9* – вторинні післялісові луки; *10* – сукцесійна чагарникова рослинність; *11* – сіровільхові та вербові угруповання; *а* – сильно затінені ділянки; *б* – межі педогеоморфологічних комплексів (макроморфохор); ***A*** – флювіальний акумулятивний рельєф з алювіальними бурими ґрунтами; ***B*** – флювіальний денудаційний та гравітаційний рельєф із бурими гірсько-лісовими ґрунтами; ***C*** – гляціальний реліктовий та флювіальний рельєф із бурими гірсько-лісовими ґрунтами; ***D*** – гляціальний реліктовий та нівально-гравітаційний рельєф із бурими гірсько-лучними ґрунтами; ***E*** – нівально-гравітаційний рельєф з бурими гірсько-лучними ґрунтами.

2. *Гродзинський М.Д.* Основи ландшафтної екології: Підручник. – К.: Либідь, 1993. – 224 с.

3. *Исаченко А.Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: Учебник. – М.: Высш. шк., 1991. – 366 с.

4. *Малиновський К.А.* Рослинність високогір'я Українських Карпат. – К.: Наук. думка, 1980. – 280 с.

5. *Солнцев Н.А.* О морфологии природного географического ландшафта // Вопр. географии. – 1949. – Сб. 16. – С.61-86.

6. *Солнцев Н.А.* О взаимоотношениях "живой" и "мёртвой" природы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. – 1960. – № 6. – С. 10-17.

7. *Тролль К.* Ландшафтная экология (геоэкология) и биогеоценология. Терминологическое исследование // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1972. – №3. – С. 114-120.

8. *Abrams M., Hook S.* ASTER user handbook. Version 2. – Pasadena, no date. – 134 p.

9. *Astaras T.* Present state of remote sensing applications to land classification and land evaluation // Landscape ecology: Theory and applications for practical purposes. The Problems of Landscape Ecology, Vol. VI. – Warsaw, 2000. – P. 7-20.

10. *Bailey R.G.* Ecosystem geography. – New York: Springer, 1996. – 204 p.

11. *Berberoglu S., Lloyd C.D., Atkinson P.M., Curran P. J.* The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean // Computers & Geosciences. – 2000. – Vol. 26, 4. – P. 385-396.

12. *Blaschke T., Lang S., Lorup E., Strobl J., Zeil P.* Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications // Environmental Information for Planning, Politics and the Public. Volume 2 / Edited by A. Cremers, K. Greve. – Marburg, 2000. – P. 555-570.

13. *Blaschke T., Strobl J.* What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS // GIS – Zeitschrift für Geoinformationssysteme. – 2001. – No 6. – P. 12-17.

14. *Blumenstein O., Schachtzabel H., Barsch H., Bork H.-R., Küppers U.* Gründlagen der Geoökologie. – Berlin: Springer-Verlag, 2000. – 420 s.

15. *Deyl M.* Plants, Soil and Climate of Pop Ivan. Synecological Study from Carpathian Ukraine. – Praha: Opera Botanica Cechica, 1940. – 290 p.

16. "*eCognition* Professional" Overview (Інтернет-ресурс: http://www.definiens-imaging.com/ecognition/pro/index.htm (Прочитано: 7.12.2003)).

17. *ERDAS* field guide. 4th edition. – Atlanta: ERDAS, 1997. – 686 p.

18. *Guisan A., Zimmermann N.E.* Predictive habitat distribution models in ecology // Ecological modelling. – 2000. – No 135. – P. 147-186.

19. *Hoersch B., Braun G., Schmidt U.* Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach // Computers, Environment and Urban Systems. – 2002. – No 26. – P. 113-139.

20. *Krouglov I., Bozhuk T.* Landscape-ecological information system for the Ukrainian Marmarosh // Proc. Second International Conf. on Economic and Environmental Development. – Nyнregyhбza (Hungary). – 1997. – P. 1-5. (Appendix.)

21. *Richards J.A., Jia X.* Remote sensing digital image analysis: an introduction. – Berlin: Springer, 1999. – 363 p.

22. *Steele B.M.* Combining multiple classifiers. An application using spatial and remotely sensed information for land cover type mapping // Remote Sensing of Environment. – 2000. – Vol. 74, 3. – P. 545-556.

23. *Using* ArcGIS Spatial Analyst. – Redlands: ESRI, 2002. – 240 p.

И.С. Круглов, Т.И. Божук

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА УКРАИНСКОГО МАРМАРОША ПО КОСМИЧЕСКОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ ASTER VNIR

Р е з ю м е

Исследования проведены в пределах небольшого бассейна. Результаты управляемой классификации изображения были уточнены путем ГИС-моделирования с использованием дополнительной геоэкологической информации – геопространственных данных о педогеоморфологических единицах и ЦМР. Знания о геоэкологических связях между формами рельефа, высотой над уровнем моря, экспозицией и растительностью получены в результате полевых исследований и из литературы. Предложен алгоритм геоэкологической интерпретации результатов автоматизированной классификации наземного покрова для горного региона Мармарош.

Львівський національний університет
імені Івана Франка
Тел.: (0322) 96-47-44
E-mail: ikruhlov@city-adm.lviv.ua
Інститут геодезії Національного університету
"Львівська політехніка"
Тел.: (0322) 39-86-31

I. Kruhlov, T. Bozhuk

GEOECOLOGICAL INTERPRETATION OF VEGETATION COVER FOR UKRAINIAN MARMAROSH USING ASTER VNIR SATELLITE IMAGE

S u m m a r y

A small mountain basin was used as a test area. The results of a supervised classification were enhanced via GIS modelling with the help of ancillary geoecological information - geospatial data on pedogeomorphic units and DEM. The knowledge about geoecological relationships between landforms, elevarion, aspect, and vegetation cover was obtained from field studies and literature sources. An algorithm of geoecological enhancement of the landcover classification for the Marmarosh region is proposed.

Надійшла 09.03.04