

УДК 551.436:631.4+528.94

ГЕОЕКОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ ЧЕРЕЗ ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОЗБІРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ФЛЮВІАЛЬНОГО РЕЛЬЄФУ НА ПІДСТАВІ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

Костріков С.В.

ЗМІСТ ПРОБЛЕМИ

Інтенсивне зростання розробки та впровадження геоінформаційних систем (ГІС) пов'язане із зручністю їх використання у багатьох сферах практичної діяльності - виробничій, дослідницькій, або у будь-якій іншій. Саме ця обставина і змушує фахівців, які діють, наприклад, у різноманітних предметних галузях географії, геоекології та охорони довкілля, змінювати звичайну методику теоретичних та особливо прикладних вивчень, а ГІС-засоби надають користувачам такого програмного забезпечення можливість ефективного збирання, обробки, аналізу і візуалізації даних, які мають *просторове посилення*.

Взаємопов'язані питання охорони навколошнього середовища і геоекологічної безпеки за своєю суттю є достатньо багатогранними, і тому може бути правомірним наступне припущення. Серед всього широкого спектру ландшафтних процесів необхідно виділити ряд ведучих, які могли бути індикатором якості стану природного середовища. На нашу думку, геоморфологічні процеси і гідрологічний режим ландшафту як раз і є тими явищами довкілля, які можуть задовольніти такій вимозі. Сучасна морфологія флювіального рельєфу є домінуючим фактором руслового і поверхневого водного стоку і може виступати критерієм як гідрологічного, геоекологічного, так і природоохоронного територіального районування. Оскільки русловий стік забруднювачів (продукти життєдіяльності техносфери, важкі метали, органічні речовини антропогенного походження) рішуче впливають на всі екосистеми, вивчення географічного ландшафту в геоморфологічному і гідрологічному аспектах означає вивчення *екології ландшафту* або, використовуючи спеціальний термін - *геоекології*.

Геоекологія вивчає *первинні* (в значенні - природні) *екосистеми*, які відповідають біогеоценозам - еволюційно сформованим однорідним природним системам функціонально зв'язаних живих істот і середовища їх проживання. Біогеоценози характеризуються певним енергетичним станом, типом і швидкістю обміну речовин, що проходять в межах географічного ландшафту, до якого ці природні системи належать. Межі ж ландшафту є прямий результат просторових закономірностей формування флювіального рельєфу і гідрологічного режиму території [1-3], і ці межі за певними умовами можна приймати результатом функціонування природних дисипативних структур [4, 5].

В наших попередніх публікаціях, звертаючись до питань геоінформаційного моделювання та комп'ютерного картографування просторового поширення різноманітних ландшафтних процесів, ми підкреслювали, що вказані процедури доцільно виконувати на підставі *гідролого-геоморфологічного підходу*, тобто відповідно рельєфу та гідрологічного режиму річкових та яружно-балкових водозборів [6, 7]. Саме водозбірні басейни є найбільш значним типом одиниць морфогенетичного районування земної поверхні у регіонах поширення

водноерозійної (флювіальної) морфоскульптури. Принциовою перевагою водозборів як об'єктів геоінформаційного моделювання для цілей дослідження природного довкілля є та обставина, що водозбірні басейни виступають, як єдине функціональне ціле у той час, коли особливості їх поверхні і процесів, що на ній відбуваються, мають досить різноманітні просторові зміст і подання. Флювіальний характер рельєфу водозбору об'єктивно відображається певною сукупністю ГІС-об'єктів і має бути прийнятим до уваги разом із гідрологічним режимом басейну при формалізації опису водозбору як об'єкта моделювання.

Розглядаючи *водозбірну організацію флювіального рельєфу*, ми на аналітичному, ідеально-типовому рівні вважаємо, що за великим рахунком доцільно було б чітко розділяти *організаційні й самоорганізаційні* механізми формування флювіального рельєфу й відповідно - визначати *геоморфологічні системи (ГМС)* *двох таких типів*. Якщо для ГМС першого типу (*організаційні*) елементна зв'язаність має випливати, перш за все, з функціональної диференціації й необхідності "зшивання" результатів для вирішення загальніших функціональних задач, то в другому випадку (*самоорганізаційні*) функціональна визначеність суттєво розмита, спостерігається функціональна взаємозамінність. Це виникає спонтанно, без попередньої регламентації. Функція як результат в таких ГМС є невід'ємною від процесу внутрішніх взаємодій, не підлеглих однозначно результату, та є самоцінною через спрямованість на збереження системної цілісності і низької ентропії.

Однак, навіть, за умовами сучасних методів дослідження й значних обсягів наявної первинної інформації, розподіл на організаційні й самоорганізаційні ГМС скоріше за все неможливо зробити хоча б приблизно об'єктивно. Тобто ми не можемо зробити розподіл таких геоморфосистем на два окремі типи структурної геоморфологічної впорядкованості. У такому випадку ми приймаємо *водозбірну організацію флювіального рельєфу* візуалізованим поданням *гідролого-геоморфологічної системи водозбору (ГГСВ)* – рекурентного квазітелеологічного утворення, якому притаманна певна мета розвитку, але у цієї мети немає керуючого суб'єкту.

Ціллю цієї статті є подання методики вирішення певних геоекологічних задач через геоінформаційне моделювання на підставі визначення водозбірної організації флювіального рельєфу, яка значної мірою відбувається в існуванні ГГСВ. Геоінформаційна модель останньої є моделлю певної онтологічної сутності, актуальної гесистеми (природної системи), елементи якої поєднуються у *просторово-функціональне ціле* через флювіальний процес - генетичний різновид загального процесу рельєфоутворення. ГГСВ має підкорятися дії *геогенетичного закону* Д.В. Рундквіста [8, 9], який щодо цієї системи можна сформулювати наступним чином: фази розвитку різнопорядкових субводозборів (СВЗ) у великому басейні можуть слідувати лише в еволюційно й функціонально закріплений послідовності; кожний СВЗ має повторювати еволюційні етапи всього басейну, але, можливо, з дуже швидким їх проходженням, або еволюційно закріплою відсутністю.

Крім *внутрішньосистемних факторів*, які регулюють функціонування й розвиток флювіального рельєфу (ФР) і які обумовлюються особливостями ГГСВ, існує низка *позасистемних факторів*, серед яких головне значення належить діяльності водних потоків, а мережа постійних та тимчасових русел відбуває інформацію про "усякі аспекти зородження, становлення та розвинення" тієї території, яка має флювіальний рельєф [10]. З іншого боку, вказані аспекти, узяті

разом (внутрішньосистемні + позасистемні фактори), взагалі відображують майже весь комплекс природно-антропогенних умов розвитку географічного ландшафту і, таким чином, характеристики мережі й морфології флювіального рельєфу водозбірного басейну (*морфолого-морфометричні атрибути флювіального рельєфу* (ММА ФР) [11]) можуть бути розглянуті у якості певного індикатора ландшафтного стану території, а звідси – як головний критерій її геоекологічного районування.

КОМПЛЕКСНА ГЕОІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО РАЙОНУВАННЯ

Однією із головних підвалин підходу до побудови комплексної геоінформаційної моделі водозбору (ГІМВ) є *пошаровий принцип* побудови комп'ютерних карт. Всі таблиці бази даних ГІС, що містять певні графічні об'єкти, мають бути пошарово візуалізовані у вікні карти даного програмного забезпечення. Наприклад, можливо вивести на екран як полігональні об'єкти, та інші векторні атрибути таблиці ландшафтних кордонів, мережі русел та вододілів, зони поширення антропогенних забруднень, тощо. Кожний шар містить окремий аспект комп'ютерної карти. Шари накладаються один поверх іншого і дозволяють користувачу бачити всі аспекти карти одночасно. Наприклад, один шар містить граници ландшафту, або забрудненої території, другий – символи, що визначають положення джерел забруднення, третій шар складається із відповідних текстових підписів і т.п. З накладання цих прозорих шарів один поверх іншого користувач ГІС починає побудову повної карти геоекологічного районування, що в даному випадку, який подається в нашій статті, здійснюється на підставі первинного визначення водозбірної організації ФР, яке полягає у встановленні ММА ФР.

ГІМВ річкового (яружно-балкового) басейну являє собою реалізацію наступних етапів, які тут подаються у вигляді формалізованого опису - алгоритмічної блок-схеми (рис. 1). На початку *першого етапу* розробки – при побудові цифрової моделі місцевості – регулярної сітки (ЦММ – РС) – кожній чарунці цієї моделі приписується декілька атрибутивних характеристик, а не одна, наприклад, абсолютна відмітка місцевості, що мало б місце при побудові звичайної ЦММ.

Атрибутивні характеристики по масиву стільникових чарунков є вхідними даними для чисельної моделі, яка обирається. У переважній більшості випадків це має бути емпірична модель, але за певних обставин може бути доцільним виконувати *евристичне моделювання* (рис. 1, 1-й, 2-й та 3-й блоки). Після цього, на наступному етапі побудови комплексної моделі, по кожному предметному шару даних відбиваються граници класів, на які розподіляється певна ознака – даний фактор (чинник), внутрішньосистемний або позасистемний. Ця ознака і є змістом даного шару. Просторова класифікація шару виконується на підставі параметричних властивостей всієї сукупності стільникових чарунков (рис. 1, 4-й блок). Результатуючі “факторні карти” (карти чинників) накладаються одна на одну за пошаровим принципом побудови комп'ютерних карт і створюють “шар комплексного фактора” – всього комплексу чинників як заключну складову даної ГІС-моделі (рис. 1, 5-й блок). В цьому полягає *комплексність підходу* до побудови геоінформаційної моделі. Типологічне ж районування кожної предметної сукупності даних (*просторова класифікація шару*), результатом якого буде решта об'єктивно отриманих регіонів, впроваджується таким чином, що граници кожного регіону проводяться, враховуючи кожний із ряду факторів. Тобто подібне районування повною мірою дотримується принципу *комплексності* у *процедурі його впровадження*.

На виході із комплексної геоінформаційної моделі водозбору може бути комп'ютерна карта геоекологічного районування на обраній території будь-якого ландшафтного компоненту, наприклад, деревної рослинності, який й виступатиме тут *шаром комплексного фактору*.

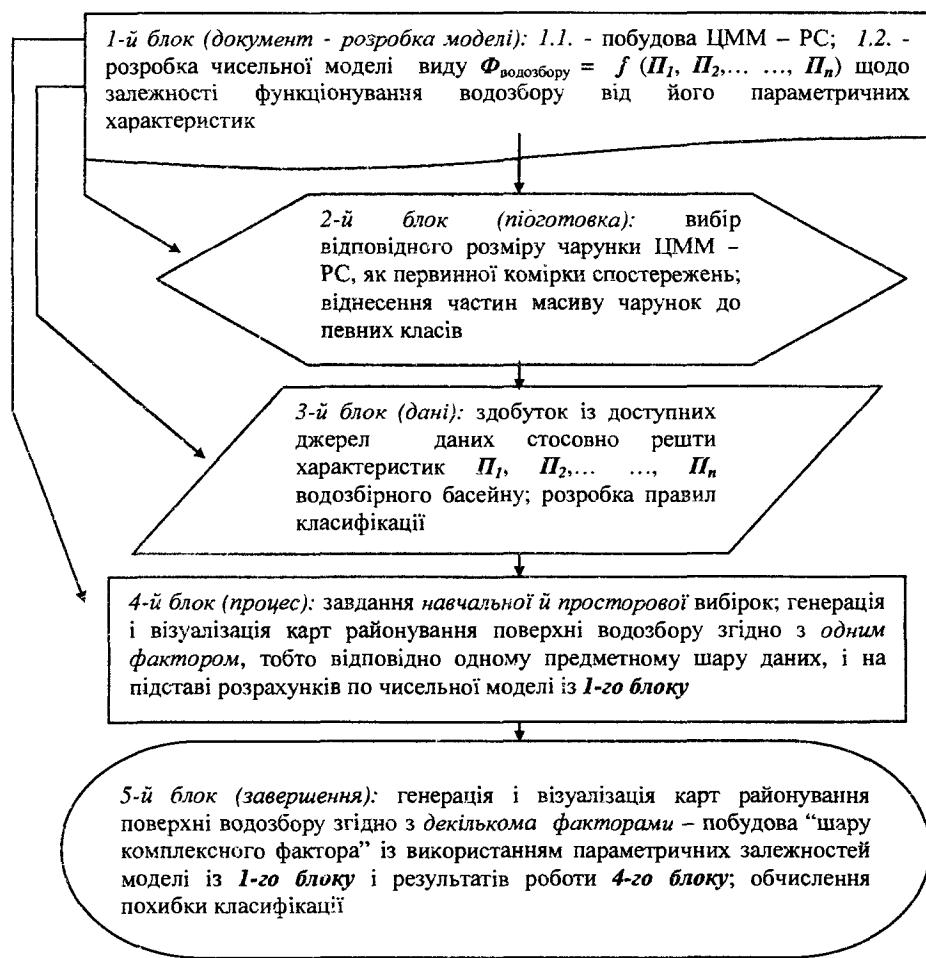


Рис. 1. Блок-схема розробки комплексної геоінформаційної моделі річкового водозбору; як окремий приклад - для геоекологічного районування поверхні басейну

ПРОГНОЗНЕ ГЕОЕКОЛОГІЧНЕ РАЙОНУВАННЯ НА ПІДСТАВІ МОРФОЛОГО-МОРФОМЕТРИЧНИХ АТРИБУТІВ РЕЛЬЄФУ

Як вже підкреслювалося вище, за підвальну геоекологічного районування території поширення флювіального рельєфу приймається його водозбірна організація, визначення якої складає суттєву частину змісту комплексної моделі (рис. 1). В прикладі досліджень, який тут наводиться, гідролого-геоморфологічний

підхід до побудови комплексної моделі доповнювався застосування загальнонаукового методу прогнозного аналізу (ПА, "predictive analysis" – англ.) - методики, в розробці якої для пакетів ПЗ *Vertical Mapper 3.0* [12] та *Amber iQ 2.0* (www.ambercore.com) автор приймав безпосередню участь. Прогнозний аналіз нами застосовувався на "грід"-файлі *Vostochne_Karparu.GRD*, який подавав цифрову модель рельєфу вододільної площини, що у Східних Карпатах. Вказана територія, яка розташована на Північний Захід від в. Говерла і до в. Сивуля, є вододільним вузлом / верхів'ями річок Тиса, Тересва, Лімніця, Бистриця-Солотвинська та деяких інших.

Прогнозний аналіз, який треба вважати суттєвим компонентом гідролого-геоморфологічного підходу, є сутністю двох послідовних рівнів дослідження/моделювання, серед яких першим є *класифікація* – ранжирування можливих просторових об'єктів/процесів та їх угруповань за певними параметрами, які ми визначаємо. Другим є власне *прогнозний аналіз* – подання вказаного ранжирування на певній території, причому не на підставі емпіричних даних, а через, так би мовити, "прогнозне моделювання", яке використовує лише обмаль фактичних даних. Базуючись на *відомих вхідних параметрах водозбірної організації ФР* – морфолого-морфометричних атрибуатах [11], ми отримаємо в прикладі, який тут розглядається, в якості прогнозних раніше *невідомі вихідні параметри*, по яких і здійснюється геоекологічне районування. Для ПА використовувався оригінально розроблений нами "метод класифікатора потенційної функції із навчанням", який, можна вважати, належить до відомої групи так званих "*Бейсово-класифікаторів*" ("Bayesian family of classifiers" – англ.), які вже декілька років використовуються в географічних дослідженнях [13, 14].

Дуже загально впровадження методу ПА в рамках комплексної моделі виглядає послідовністю п'яти наступних кроків відповідно із комплексною ГІМВ (рис. 1): 1) користувач програмного забезпечення на етапі "навчання" цього ПЗ виділяє по карті (або картах) навчальні області і, виходячи з свого розуміння наочної області, відносить їх до того або іншого відомого йому просторового класу – виконується в рамках *блоку 1* комплексної моделі (див. рис. 1); 2) на наступному кроці користувач вказує регіон ("робочі дані"), в якому потрібно кожну точку (у випадку "точкового файлу"), або вузол (у випадку "грід"-файлу) віднести до одного з класів, раніше "повідомлених" ПЗ на етапі його "навчання" – *2-й блок*; 3) після того, як надана інформація про всі можливі для даної задачі класи, ПЗ виконує в ітераційному режимі розробку правил, за допомогою яких потім проводиться класифікація – *3-й блок*; 4) на останньому кроці впроваджується обчислення кількісної оцінки похибки класифікації. Строго кажучи, потрібно розділити дані *первинної статистичної вибірки* об'ємом V_0 (для варіант якої точно відома приналежність до одного з класів, що виділяються через класифікацію) на дві вибірки, які не перетинаються – *навчальну* та *тестову* – *4-й блок*; 5) "навчання" програмного забезпечення треба проводити на навчальній вибірці, а тестування – відповідно на тестовій; оскільки "об'єм навчальної вибірки + об'єм тестової вибірки" повинен бути $\leq V_0$, то при породженні незалежної тестової вибірки зменшується об'єм навчальної, а це веде до погіршення якості "навчання" ПЗ. Тому, у разі невеликих об'ємів V_0 (а це – типова ситуація) звичайно для тестування використовують ті ж самі дані, що і для "навчання". У такому випадку програмним забезпеченням видається типове повідомлення: "тестовий прогін на тих же даних,

що і в режимі навчання привів до появи помилки класифікації в $X\%$ випадках" – 5-й блок (рис. 1).

"Метод класифікатора потенційної функції із навчанням" нами використовувався для класифікації і подальшого ПА територіального розповсюдження деревної рослинності на території, вказаній вище. Наявні емпіричні дані щодо видового складу деревної рослинності і ґрутового шару по окремих площах дозволяли використовувати ці території як "навчальні регіони" при класифікації. Шари рослинності та ґрунтів сіїввідносилися із територіально притаманними їм *первинними та вторинними* атрибутами водозбірної організації рельєфу. Подальше проведення на підставі прогнозного аналізу границь між регіонами "вид деревної рослинності / тип ґрутового покриву" відповідає вже змісту *саме геоекологічного районування*, а не звичайного ґрутово-рослинного картографування, оскільки використовує для проведення границь не емпіричні дані польових досліджень, а *похідні модельні показники*.

По-перше, у вказаних цілях для визначеності території нами через авторське програмне забезпечення *GIS-Module Ukrainian 1.5* розраховувався *топографічний індекс вологості (TIB)* ґрутового покриву як ведучий вторинний ММА (рис. 2). Тобто моделювався стан верхнього ґрутового шару на підставі відомої модельної конструкції *TOPMODEL*. По частині території Східних Карпат вологість ґрунту моделювалася за 8-балльною шкалою за умовою інтенсивної трохищенкої зливи із сумарним шаром опадів в 180 мм. По результататах моделювання було виявлено, що на майже двох третинах території після такого екстремального метеоявища буде максимальна вологість верхнього ґрутового шару (див. рис. 2). Те, яким чином видовий склад деревної рослинності залежить послідовно від первинних і вторинних (зокрема, вологість ґрунту) атрибутів водозбірної організації рельєфу, ми походили із відомостей, що подавалися в найбільш значних публікаціях із близької тематики [15, 16].

РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І ВИСНОВКИ

Цифрова модель місцевості, по якій розраховувався TIB, впроваджувалися класифікація і прогнозний аналіз в цілях геоекологічного районування, була створена по серії карт Українських Карпат М 1:100000. По деяких ділянках на цю територію в нашому розпорядженні також знаходилися дані із видового складу деревної рослинності як результату обробки матеріалів дистанційного зондування. Саме ці ділянки використовувалися як тестові "навчальні регіони" при класифікації, та їм привласнювалася сумарна ознака u . З ними у вигляді $u = f(x_1, x_2)$ пов'язувалися *вхідні параметри моделювання* – первинні (відносні перевищення, азимути схилів, кривизна схилів, їх місцеположення, x_1) і вторинні ММА (площа дренажу та TIB – x_2 , рис. 2). Таким чином було виконано 1-й та 2-й кроки процедури "класифікація – прогнозний аналіз" – визначення характерних площ ("навчальних просторово-статистичних вибірок") і рішення щодо "сторонніх параметрів", по яких буде класифікуватися головна ландшафтна ознака – деревна рослинність. Звичайно, цими сторонніми параметрами є ММА ФР.

Для завершення моделювання "класифікація – просторовий аналіз деревної рослинності" в середовищі системи аналітичної обробки просторової інформації

Amber iQ 2.0 виконувалися 1-й-3-й кроки моделювання за комплексною моделлю по файлу *Vostochnie_Karpatu.GRD*.

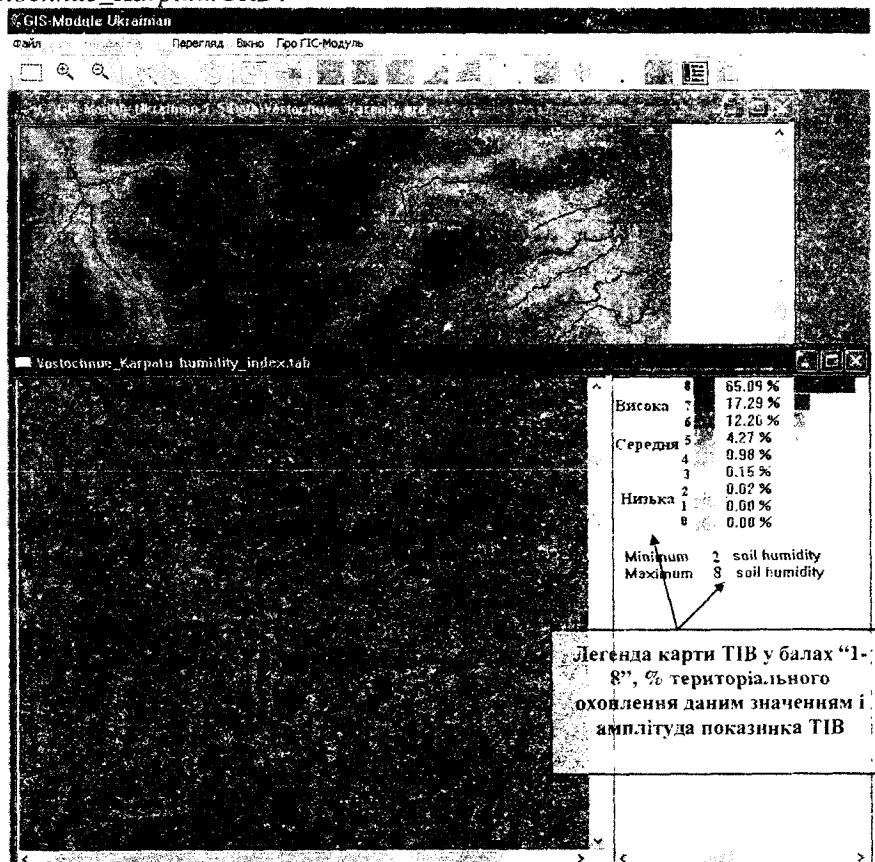


Рис. 2. Результати моделювання “топографічного індексу вологості” ґрутового покриву на підставі модельної конструкції ТОРМОДЕЛ на частині території Східних Карпат за умовою затяжної зливи: вологість верхнього шару ґрутового покриву подається по восьмибалльній шкалі, і кожній градації відповідає процент просторового поширення

В середовищі моделювання, коли файл *Vostochnie_Karpatu.GRD* завантажений у Вікно карт, вибираємо *AiQuipment > Data Analysis > Predictive Analysis* і просто натискаємо *Next* в діалозі першого кроку моделювання (*Step 1 – блок 1* комплексної моделі). На другому кроці (блок 2) вибираємо *Map Window* у наступному діалозі, якщо використовується тільки один параметр x_1 , однак, оскільки наші “навчальні регіони” можна вважати похідною від двох складових (первинні та вторинні MMA), для процедури “класифікація – ПА” включаються два “грід”-файли – із топографічною поверхнею (первинні MMA - x_1) та “індексом вологості” TIB (вторинні MMA - x_2). На третьому кроці моделювання треба визначити таку його опцію як “характерний простір (моделювання)” – *Feature Space* (3-й блок). Якщо вибрати “типовий простір”, буде задіяний увесь обсяг емпіричних даних на цю площину, однак, у разі їх суттєвої похибки, або незначного територіального поширення (як у випадку, який тут розглядається), доцільно обирати опцію

“статистичного простору” – *Amber iQ Space* – який подається статистиками емпіричних даних.

На четвертому кроці вже безпосередньо визначаються вибірки - “навчальні регіони” (4-й блок). В цьому випадку нами визначалися наступні вибірки щодо видового складу деревної рослинності на окремих ділянках: *регіон (клас) 1* – дубові ліси із дуба звичайного і скельного; *регіон (клас) 2* – гірські букові ліси; *регіон (клас) 3* – хвойно-широколисті ліси; *регіон (клас) 4* – ялинові і смерекові ліси (рис. 3).

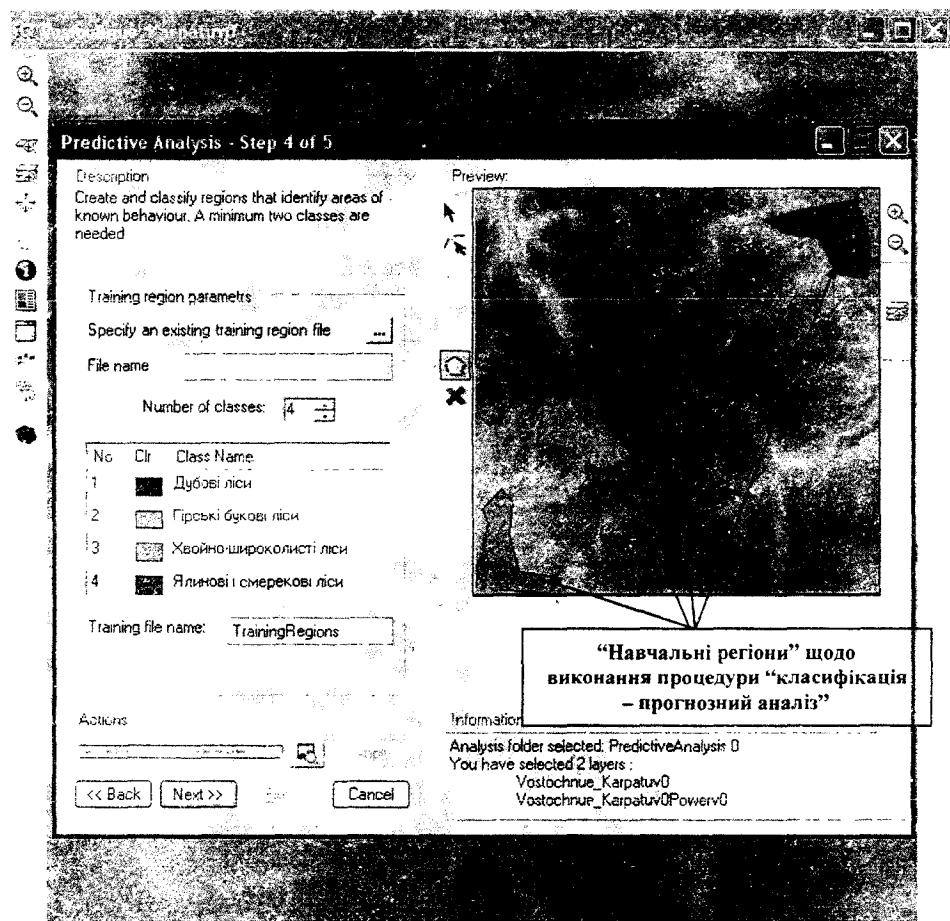


Рис. 3. Визначення “навчальних просторових статистичних вибірок” на четвертому кроці моделювання при впровадженні геоекологічного районування деревної рослинності у частині Східних Карпат

Таким чином, в якості “навчальних просторових статистичних вибірок” були обрані головні ярусні підзони деревної рослинності Східних Карпат. При переході до *n*-ятого кроку безпосередньо здійснюється процедура “класифікація – ПА”, і у вікні *Перегляд* можна побачити прообраз майбутньої карти у визначеній на попередньому кроці кольоровій легенді із похибкою моделювання (рис. 4).

Нарешті, по заключній карті геоекологічного моделювання, зробленого на підставі визначення атрибутивних характеристик ФР можна прийти до висновку, що домінантними видами на цій плоші є дубові (клас 1) і хвойно-широколисті ліси (клас 3). Два інших класи (гірські букові ліси та ялинові і смерекові ліси – класи 2 і 4) є просторово підпорядковані деревної рослинності класів 1 і 3 (рис. 5).

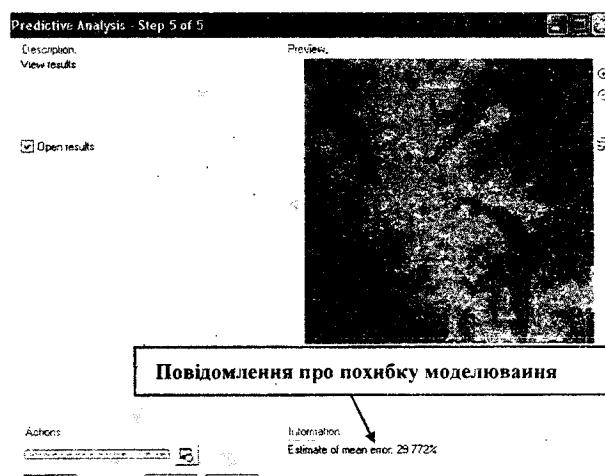


Рис. 4. Вікно попереднього перегляду заключної карти на п'ятому кроці моделювання

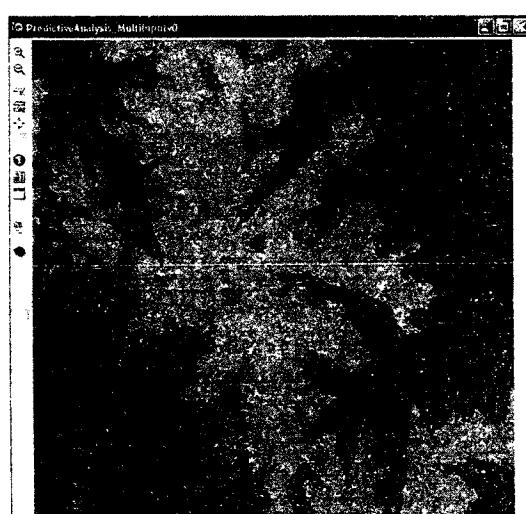


Рис. 5. Заключна карта геоекологічного районування лісів на частині Східних Карпат по результатах впровадження процедури “класифікація – ПА”

По результатах викладеного в статті, на нашу думку, є доцільним зробити два наступні висновки:

- із допомогою авторського ПЗ, у якому реалізовані комплексна ГІМВ й загальнонауковий метод прогнозного аналізу можна адекватно здійснювати

геоекологічне районування території по видах деревної рослинності, коли критеріями прогнозу просторового розподілу цього компонента ландшафту виступають тільки характеристики водозбірної організації флювіального рельєфу - його первинні і вторинні атрибути;

- вказане має суттєве прикладне значення у разі необхідності ландшафтного дешифрування матеріалів дистанційного зондування, по яких, у першу чергу, можна одержати найбільш точну інформацію тільки про рельєф підстильної поверхні, а дані про інші компоненти ландшафту (наприклад, ґрунтово-рослинний покрив) не можуть бути отримані безпосередньо.

Список літератури

1. Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. - М.: Изд-во МГУ. - 1972. - 251 с.
2. Черванев И.Г. Структура рельефа и ее влияние на структуру ландшафта // Физ. география и геоморфология. - 1983. - Вып. 30. - С. 104-107.
3. Abrahams A.D. Topologically random channel network in the presence of environmental controls // Geological Society of America Bulletin. - 1985. - V. 86. - P. 1459-1462.
4. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. Перевод с англ. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 312 с.
5. Черванев И.Г., Боков В.А. Развитие представлений о саморегулировании и самоорганизации рельефа // Самоорганизация и динамика геоморфосистем. Материалы XXVII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Отв. редактор А.В. Поздняков. – Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2003 – С. 14-19.
6. Костріков С.В., Воробйов Б.Н. Формалізована модель флювіального рельєфоутворення та її реалізація в програмному забезпеченні // Геоінформатика - GEOINFORMATIKA – 2005. – № 4. – С. 45-53.
7. Костріков С.В., Антипова I.O., Костріков О.С. Комплексний підхід до розробки ГІС-моделі водозборів для цілей геоекологічного районування // Вісник ХНУ ім.. В.Н. Карабіна. Сер. Геологія – Географія – Екологія – 2005. – № 704. – С. 33-40.
8. Кеплен С.Р., Эссиг Э. Биоэнергетика и линейная термодинамика необратимых процессов (стационарное состояние): Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 384 с.
9. Щербаков А.С. Самоорганизация материи в неживой природе: Философские аспекты синергетики. – М.: Изд-во Моск.ун-та, 1990. – 111 с.
10. Кадетов О.К., Кружалин В.И., Симонов Ю.Г. Влияние структуры речной сети на ход рельефообразующих процессов // Геоморфология. - 1981. - № 3. - С. 37-41.
11. Костріков С.В. Атрибутивні дані для ГІС і визначення морфолого-морфометричних атрибутів флювіального рельєфу // Геоінформатика. – 2004. - № 4. – С. 70-77.
12. Vertical Mapper: Spatial Analysis and Display Software. – Version 3.0. Tutorials. - Northwood Technologies Inc. and Marconi Mobile Limited. – Ottawa. - 2002. – 126 p.
13. Church, R.L., Loban, S.R., Lombard, K. An Interface for Exploring Spatial Alternatives for a Corridor Location Problem // Computers and Geosciences. – 1992. – V. 8. - P. 1095-1105.
14. Burrough, P.A. Are GIS Data Structures too Simple Minded? // Computers and Geosciences. – 1992. - V. 18. – P. 395-400.
15. Whittaker R.H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California // Ecological Monographs. – 1960. - Vol. 30. – P. 279-338.
16. Franklin J. Predictive vegetation mapping: geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients // Progress in Physical Geography. – 1995. – Vol. 19. – P. 474-499.

Статья поступила в редакцию 20.04.06