

МОДЕЛЮВАННЯ БАСЕЙНОВИХ СИСТЕМ У БАЗІ ДАНИХ ГІС

Розглянуто питання представлення структури басейнових систем у базі даних ГІС. Запропоновано модель цієї структури для платформи ARC/INFO, яка включає 2 просторових шари з 4 класами об'єктів, причому для представлення в одному шарі ієрархії різнорангових басейнів використано модель регіонів. Показано можливості оверлейного ГІС-аналізу при визначенні ряду важливих характеристик водозборів і русел.

Постановка проблеми та її актуальність

Останнім часом у світі є усталеним погляд на басейни як на оптимальні об'єкти цілісного територіально-екологічного планування. Значною мірою це зумовлено актуальністю проблеми раціонального використання водних ресурсів. Так, у переліку ключових положень Рамкової Водної Директиви, ухваленої у 2000 р. Європейською Комісією Європарламенту першим пунктом стоїть перехід на басейнову основу управління водними ресурсами. Для кожної територіальної одиниці управління – річкового басейну, згідно Директиви, повинен бути розроблений єдиний менеджмент-план, який включає вивчення природних характеристик та антропогенний вплив на стан природних вод у межах басейну [3].

Концепція басейнового принципу управління спирається на розуміння того, що підтримка якості води у водоймах, запобігання їх замуленню тощо потребує відповідних природоохоронних заходів, що поширюються не лише на прилеглі до водойм заплави та днища долин, але й на всю площу водозбору, де формується стік даної водойми. Це ж стосується і заходів, спрямованих на боротьбу з рядом небезпечних природних явищ (паводки, селі, зсуви, підтоплення, засолення).

Ефективне управління у сфері природокористування потребує відповідної інформаційної бази, роль якої покладається на географічні інформаційні системи (ГІС). Дотримання басейнового принципу управління вимагає відповідної організації баз даних ГІС, які мають

адекватно передавати сформовані концентрованим стоком просторові відношення.

Структура моделі басейнових систем

У роботі досліджувалися можливості моделювання басейнових систем у базі даних ГІС із використанням програмного пакету ARC/INFO 7.1.2. Модель векторних даних ARC/INFO включає просторові шари, які можуть містити класи площинних, лінійних та точкових об'єктів, до яких прив'язуються змістовні атрибути. Кожний шар може одночасно містити класи точкових та лінійних або ж лінійних та площинних (утворених замкненими лініями) об'єктів. Крім того, модель даних ARC/INFO 7.1.2 підтримує клас регіонів – площинних об'єктів, які можуть накладатися та перекриватися, поділяючи спільні межі. Було створено модельні бази даних для двох невеликих (2х2 км та 4х6 км) тестових ділянок на рівнині (околиці м. Львова) та в гірській місцевості (Верхньодністровські Бескиди), що дозволило дослідити особливості моделювання басейнових систем на найбільш детальному просторовому рівні, з відображенням кожного елементарного водозбору.

Головними геометричними елементами басейнових систем є площі водозборів різних порядків, обмежені лініями вододілів, та орієнтований дендричний граф, ребрами якого є тальвеги (канали стоку), а вершинами – початки та злиття тальвегів. Відповідно моделювання басейнових систем у структурі даних ARC/INFO здійснюється за допомогою системи із двох топологічно пов'язаних векторних шарів: мережі з'єднаних орієнтованих лінійних елементів, які моделюють орієнтований граф тальвегів, та полігонного шару водозборів різного порядку та їхніх меж. Нижче розглянуто структуру кожного з цих шарів та систему їх базових атрибутів (кількісних та якісних ознак, які характеризують кожний просторовий об'єкт).

Перший шар містить лінійні елементи (арки) сегментів тальвегів, орієнтовані в напрямку стоку, та точкові елементи (вузли) на перетині тальвегів та в деяких інших місцях. Занесені до бази даних атрибути арок (тальвегів) включають: ранг (напр., за Штралером та Шрівом), характер водотоку (постійний чи тимчасовий)¹, генетичну характеристику ерозійної форми рельєфу, осьовим елементом якої є даний тальвег. Якщо тальвег відповідає руслу річки, зазначається її назва, а за можливості, й

¹ Будь-який виражений у рельєфі тальвег час від часу є руслом водотоку (під час сильних злив)

деякі інші характеристики (глибина, швидкість течії, характер русла тощо), які вважаються однорідними для кожного з сегментів, поділених вузлами.

Вузли, що розділяють сегменти арок, поділяються на типи. Головні типи вузлів: витoki (початки) та злиття (впадіння) тальвегів; вузли перетину з границею тальвегів, що починаються або закінчуються за межами території; пункти зміни характеру водотоку (перехід тимчасового водотоку в постійний, впадіння та виток зі ставу); пункти зміни характеру форми рельєфу (напр., перетворення улоговини стоку в яр).

З точки зору топології вузли є вершинами графу, утвореного мережею тальвегів. Порядок (ранг) вузла визначається наступним чином: вузли, які відповідають витoku (початку) тальвегу, мають ранг 0; ранг вузлів на злитті тальвегів визначається найменшим з рангів тальвегів, що зливаються; решті вузлів ранг не присвоюється.

Другий шар моделі басейнової системи передає систему різнорангових водозборів (басейнів) та вододілів, що їх розділяють. Моделювання системи різнорангових басейнів доцільно здійснювати, використовуючи наявну в ARC/INFO топологічну векторну модель регіонів. Остання дозволяє зберігати в одному просторовому шарі геометричні та змістовні атрибути цілісностей (полігонів) різного ієрархічного рівня, які просторово перекриваються. Басейни вищих порядків, як відомо, включають басейни нижчих порядків, проте, на відміну від більшості ієрархічних структур, обсяг (площа) басейну вищого порядку є більшою від суми площ ієрархічно підпорядкованих басейнів нижчого порядку, оскільки включає ділянки, які не належать до останніх.

При визначенні рангу басейну найбільш зручною є система Штралера. Сукупність басейнів кожного послідовного ієрархічного рангу (1-го, 2-го тощо) представлена як окремий субклас регіонів із власною системою атрибутів.

Окрім систем атрибутів басейнів різного порядку, дане покриття також містить систему атрибутів лінійних елементів (арок), які відображають вододіли (межі басейнів). До атрибутів вододілів передусім належить ранг вододілу, який визначається через ранг (порядок) басейнів, межею яких він є. Вододіл, який розмежовує 2 басейни рангу n , що належать до одного басейну рангу $n+1$, має ранг n . Басейнова структура

наочно передається картою, де товщина ліній, якими зображено вододіли, пропорційна до їх рангу (рис. 1).

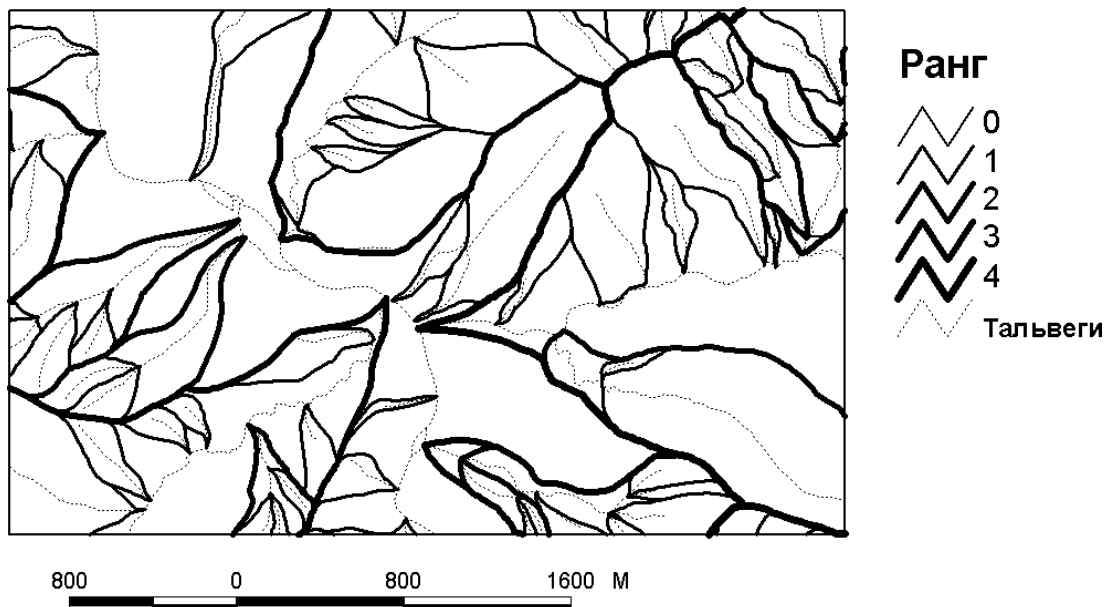


Рис. 1. Наочне зображення мережі вододілів

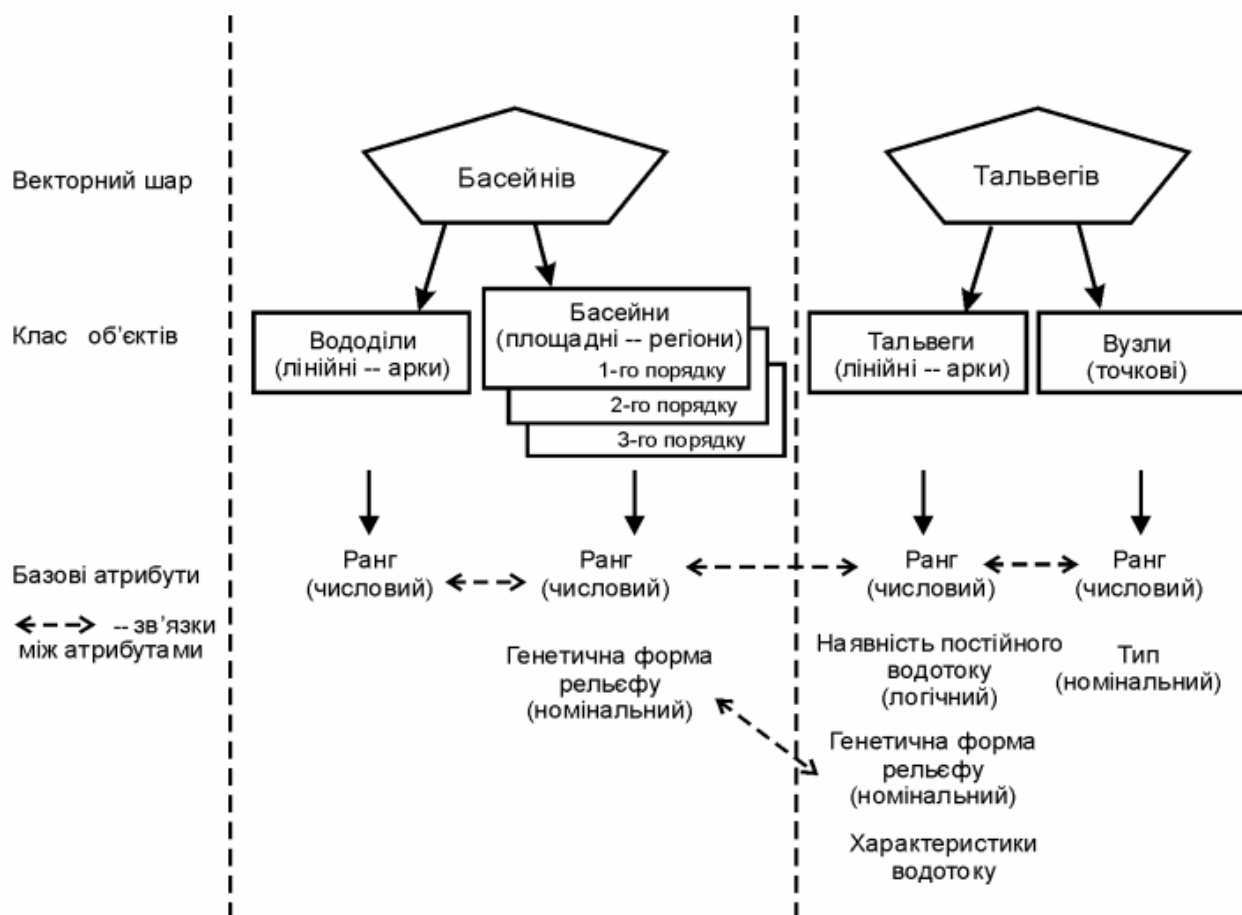


Рис. 2. Структура моделі басейнових систем

Можливості оверлейного аналізу просторових шарів.

Суттєвою перевагою ГІС є можливість спільного просторового аналізу різних даних, представлених у формі просторових шарів. Базис природно-географічних даних ГІС містять просторові шари, які відображають різноманітні характеристики природного середовища [1]. Накладання цих шарів на шари тальвегів та водозборів (оверлейний аналіз) та проведення відповідних розрахунків дозволяють визначити ряд важливих характеристик елементів басейнових систем.

Цифрові шари ГІС за структурою даних поділяються на векторні (відбивають розподіл дискретних об'єктів та категорій – форм рельєфу, типів ґрунту тощо) та растрові (відображають континуальний розподіл числових характеристик – наприклад, перевищення, температури). Залежно від типу шарів стає можливим визначити частоту повторюваності певних об'єктів та частки різних категорій у площі водозбору, або ж статистичні параметри (середнє значення, дисперсію) розподілу по його площі певної числової характеристики.

Так, за допомогою інтерпретації та класифікації супутникових знімків одержують детальні цифрові карти наземного покриття, на яких зображений розподіл його категорій. На рис. 3 показано результат автоматичного підрахунку лісистості елементарних водозборів, одержаний із використанням такої карти.

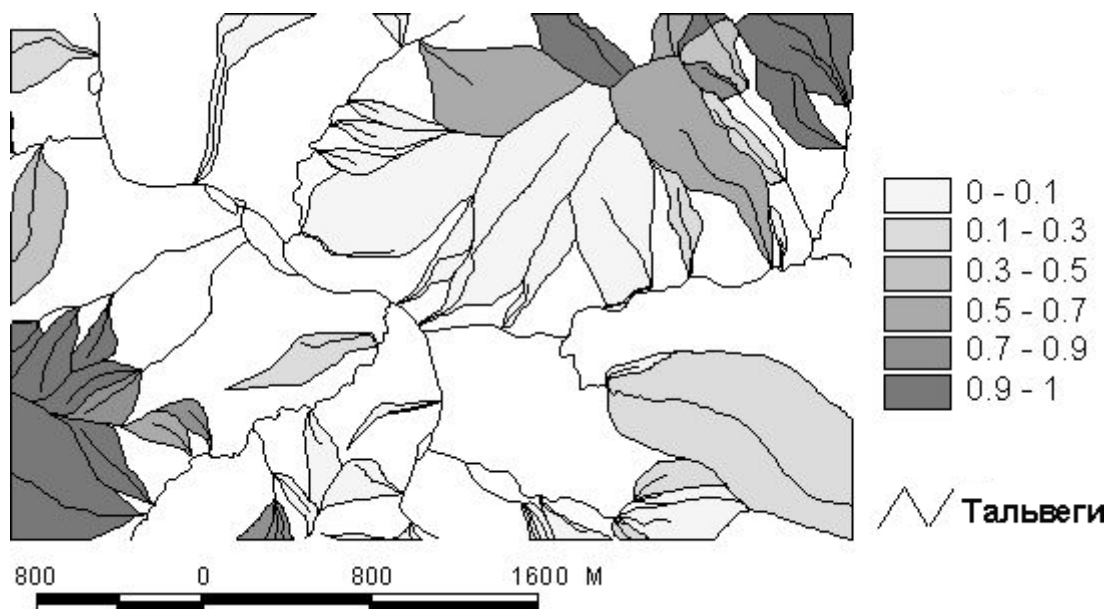


Рис. 3. Частка лісів у загальній площі елементарних водозборів

Серед растрових шарів, які містяться в базах даних ГІС, особливе місце займає цифрова модель рельєфу (ЦМР), яка служить основою для створення похідних растрових шарів [2]. Серед останніх, найбільш важливим із практичної точки зору, є шар ухилів земної поверхні. На рис. 4 показано одержану за допомогою оверлейного аналізу карту розподілу значень крутизни схилів за елементарними водозборами.

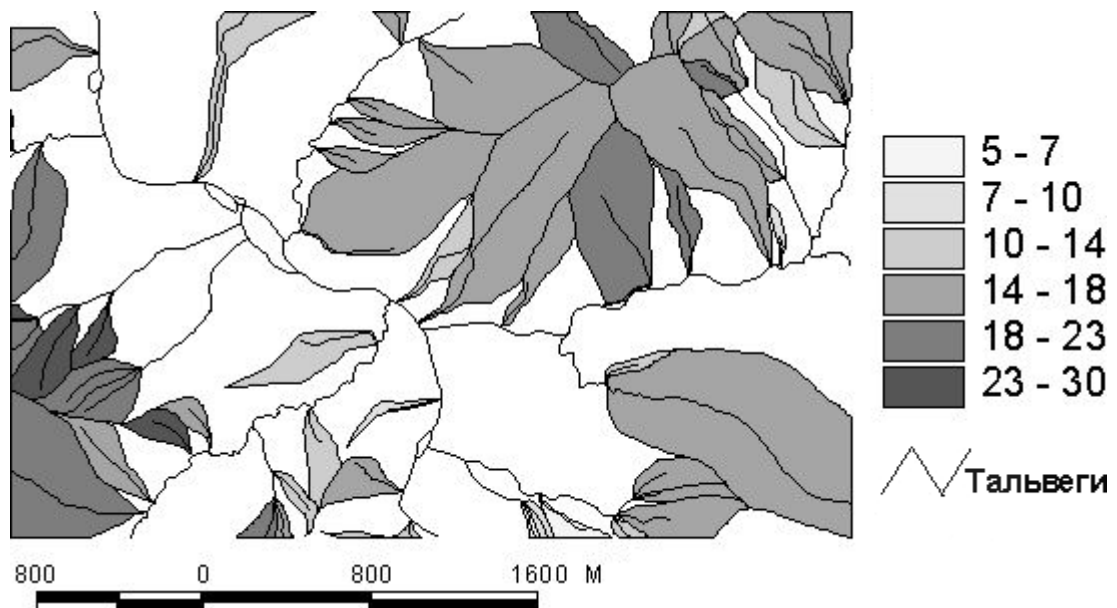


Рис. 4. Середня крутизна схилів для елементарних водозборів, °

Застосування більш складних моделей дозволяє одержувати інші важливі характеристики для окремих водозборів. Так, модель RUSLE дозволяє оцінювати величину щорічної ерозії ґрунту, зумовленої площинним змивом та струмковою ерозією, враховуючи характеристики рельєфу (крутизна та довжина схилів), клімату (ерозійний потенціал опадів), ґрунту та наземного покриття [6]. Помноживши обраховану за цією моделлю величину змиву на одиницю площі (модуль змиву) на площу водозбору, одержуємо оцінку щорічного змиву з водозбору (рис. 5).

Методи ГІС також дозволяють обраховувати геометричні характеристики водозборів. На рис. 6 зображено обраховане за допомогою програми просторового аналізу Fragstats [4] значення фрактальної розмірності для елементарних водозборів, яке є мірою складності їх форми [4].

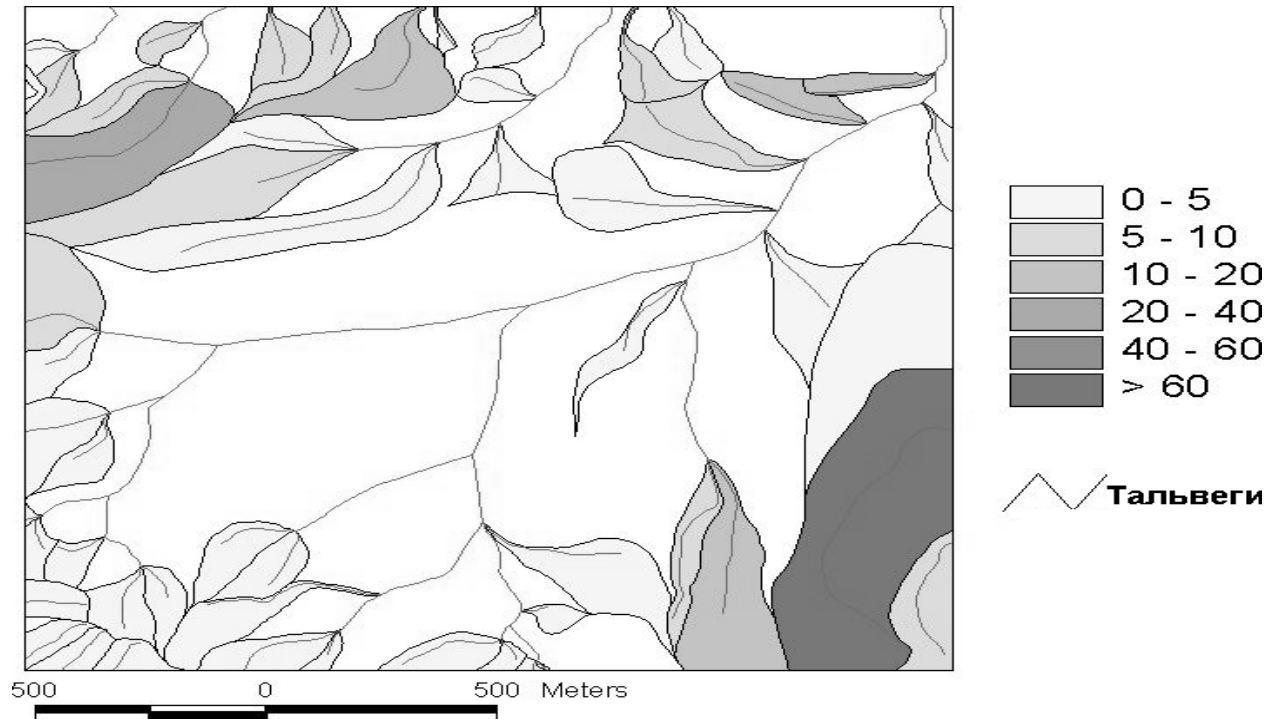


Рис. 5. Оцінка величини твердого стоку з елементарних водозборів, т/рік

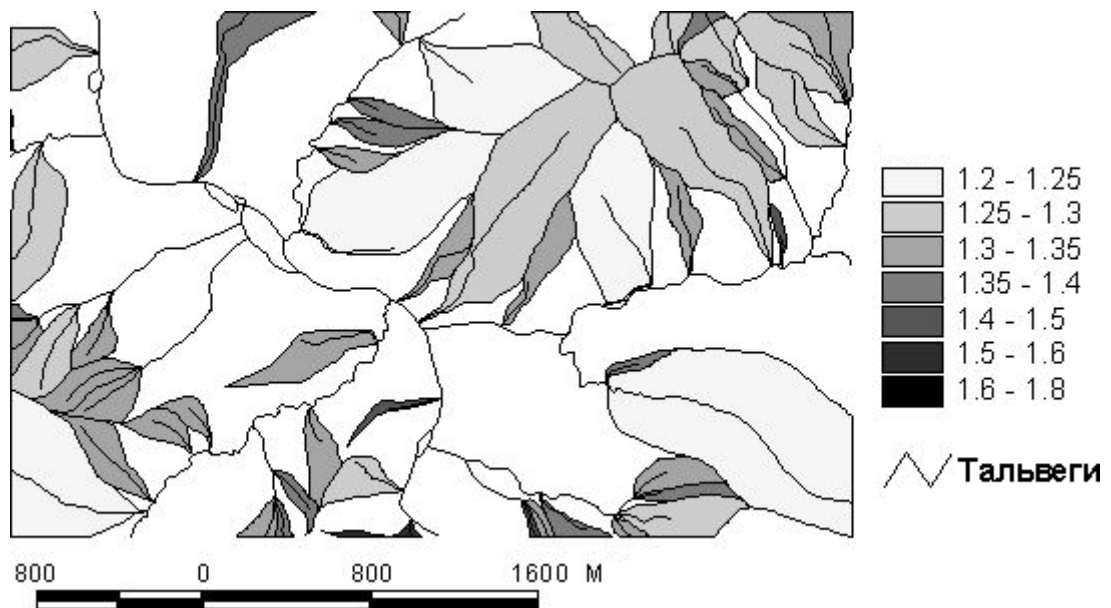


Рис. 6. Фрактальна розмірність елементарних водозборів

Аналогічні методи можуть використовуватися для визначення ряду характеристик тальвегів (русел) та вододілів. Так, накладаючи шар тальвегів на шар нахилу поверхні, одержуємо значення ухилів русла, які можна прив'язати до таблиці атрибутів тальвегів. Виразність вододілів у рельєфі, яка є важливим індикатором динамічних тенденцій у басейнових

системах, можна визначити за допомогою накладання шару вододілів на растровий шар планової кривизни поверхні, одержаний із ЦМР.

Висновки

Пріоритетність басейнового підходу до цілісного територіального планування обумовлює необхідність включення до комплексних баз природно-географічних даних моделі басейнової системи. Реалізація цієї моделі в середовищі ГІС ARC/INFO, яка підтримує топологічну векторну модель даних, передбачає створення двох топологічно пов'язаних векторних шарів, що містять 4 класи об'єктів: відповідно, водозбори та вододіли й тальвеги та вузли, кожний зі своєю власною системою атрибутів. Використання моделі регіонів, що підтримується цим програмним середовищем, дозволяє зберігати в одному просторовому шарі атрибути водозборів різного порядку.

Адекватне представлення структури басейнових систем у базі даних ГІС дає змогу визначати ряд важливих характеристик елементів басейнових систем шляхом оверлейного аналізу їх шарів із іншими векторними та растровими просторовими шарами бази даних. Так, існує можливість автоматичного обрахунку часток різних категорій наземного покриття у площі окремих водозборів, середнього значення крутизни схилів та інших числових характеристик в їх межах, ухилу русла водотоків. Більш складні числові моделі дозволяють визначати ряд практично важливих характеристик, зокрема, значення твердого стоку, який надходить з окремого водозбору за певний проміжок часу.

Викладені принципи зберігають значення і у випадку використання інших програмних продуктів ГІС із співставимими з ARC/INFO функціональними можливостями.

* *

Рассмотрено вопросы представления структуры бассейновых систем в базе данных ГИС. Предложена модель этой структуры для платформы ARC/INFO, которая включает 2 пространственных слоя с 4 классами объектов, причем для представления в одном слое иерархии разноранговых бассейнов использована модель регионов. Показаны возможности оверлейного ГИС-анализа при определении ряда важных характеристик водосборов и русел.

* *

1. *Круглов І. С.* Міська ландшафтно-екологічна інформаційна система // Укр. геогр. журнал. – 1997. – №3. – С. 41-46.
2. *Мкртчян О.* Оцінка точності цифрової моделі рельєфу та її використання в моделюванні // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2002. – № 62. – С. 125-130.
3. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Official Journal – L327 – P. 1-55.
4. *McGarigal and Marks.* 1994. Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual. For. Sci. Dep. Oregon State University. Corvallis Oregon 62 p.+ Append.
5. *Strahler, A. N.* 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union. Vol. 8, Number 6, pp. 913-920.
6. *Wischmeier, W.H., and Smith, D.D.* 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, US Department of Agriculture, Washington D.C.