

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МАЛИХ РІЧОК НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ЗА ЕКСПЕРТНИМИ ОЦІНКАМИ ТА ЇХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЮ МОДЕЛЛЮ

Робота присвячена розробці нового методу ідентифікації параметрів малих річок на основі апарата теорії нечітких множин як альтернативи вартісному методу польових обстежень річки. Метод використовує вже накопичену інформацію, практичний досвід фахівців та наявний картографічний матеріал. Наведено основні характеристики параметрів річок як лінгвістичних змінних. Описано процес формування геоінформаційної моделі річки та цифрової моделі рельєфу, запропоновано математичні співвідношення для оцінювання параметрів річок за цими моделями на основі комп'ютерних геоінформаційних технологій.

1. Вихідні передумови та постановка задачі

Більшість задач, пов'язаних з математичним моделюванням процесів у малих річках, так чи інакше вимагають знання їх *паспортних даних*: глибина та швидкість течії на плесах, на перекатах та усереднені, ширина найбільша, найменша та усереднена, витрати води у різні пори роки та за різних рівнів забезпеченості, коефіцієнт звивистості русла у різних точках, лісистість, озерність, коефіцієнт шорсткості дна русла або коефіцієнт турбулентної дифузії тощо. Для добре обстежених річок ці параметри є відомими, але, по-перше, деякі з них із часом зазнають змін, наприклад витрати води (а повне обстеження одних і тих же малих річок зрідка проводять двічі); по-друге, для багатьох малих річок ці параметри невідомі — відомі тільки деякі найбільш узагальнені типу довжини, кількості приток та площі водозбірного басейну.

Варто зазначити, що у відповідності до чинного Водного Кодексу України, *малими річками* є такі, площа водозбірного басейну яких не перевищує 2 тис. км². Принаймні в межах Вінницької області довжина таких малих річок досягає 100 км і навіть 116 км. Зрозуміло, що більшість параметрів річки на відстані 20 км від витoku суттєво відрізняються від тих, що біля гирла — через 100 км від витoku. Отже, постає задача оцінювання не тільки усереднених параметрів малих річок, а й їх параметрів у різних створах, принаймні в 2-х чи 3-х (біля витoku, посередині, біля гирла). Традиційний підхід до оцінювання чи розрахунку цих параметрів за результатами детальних польових досліджень водотоків не дозволяє розв'язати таку задачу, головним чином, через фінансові обмеження. Наприклад, тільки по Вінницькій області за офіційними даними Вінницького облводгоспу нараховується більше 230 малих річок довжиною більше 10 км. Якщо на кожній ідентифікувати параметри 2–3 створів, тоді усього це складе — 500–600 створів. А в межах України — значно більше.

У роботі [1] автором запропоновано новий підхід для ідентифікації паспортних даних малих річок на основі теорії нечітких множин. Було підкреслено нечітку природу ідентифікації коефіцієнта шорсткості дна русла — одного із ключових параметрів річки для моделювання процесів розбавлення в ній стічних вод. Основним об'єктом дослідження статті [1] були параметри річок, необхідні для ідентифікації гідравлічного параметра β в моделі Фролова — Родзилера, яка найширше використовується на практиці для моделювання процесів розбавлення у річках. Узагальнено запропоновані у тій статті ідеї і розвинемо їх на більш загальну задачу ідентифікації основних паспортних даних малих річок, зокрема будемо шукати відповіді на такі питання:

1. Якими шляхами можна збирати інформацію про паспортні дані річок?
2. Як слід вибирати нечіткі лінгвістичні змінні (паспортні характеристики) річок та з якими характеристиками, котрі повинні оцінюватись за, часто неповною, інформацією про паспортні дані річок?
3. Якими можуть бути експертні оцінки значень лінгвістичних змінних?
4. Чи можна і як здійснювати альтернативне до традиційного експертне оцінювання за наявним картографічним матеріалом за допомогою сучасних інформаційних комп'ютерних технологій?

Спробуємо дати відповіді на ці питання як використавши відомі підходи та алгоритми, так і запропонували нові з використанням сучасних інформаційних технологій.

2. Збирання інформації про паспортні дані річок

1. Збирання паспортної інформації про річку можна здійснювати такими чотирма шляхами:

- 1) *традиційний*: польові експедиційні дослідження — дозволяють найбільш точно шляхом

натурних досліджень визначити кількісні значення характеристик;

2) обробка зображень *дистанційного зондування Землі (ДЗЗ)*: супутникова чи аерофотозйомки — дозволяють актуалізувати картографічні дані, що можуть зазнавати змін; при допомозі зйомки у різних спектрах можна оцінити стан забруднення води, склад та обсяг рослинного покриву берегів водотоків тощо;

3) *картографічний*: за топографічними картами чи планами (комп'ютерними чи паперовими) — визначення довжини річки, кількості приток, водозбірної площі та інших подібних характеристик; певною мірою, можна оцінити ширину річки, завдяки умовним позначенням, що формуються за шкалою значень ширини, але, як правило, більшість малих річок та струмків попадають в одну-дві градації шкали;

4) *експертний*: опитування експертів-гідрологів, які дають характеристику річок на основі якісного оцінювання їх параметрів без проведення прямих вимірювань їх значень.

Зрозуміло, що третій та другий шляхи є порівняно дешевими, але менш точними, а перший та другий — більш точними, але значно дорожчими. Третій шлях добре доповнює четвертий, крім того, він, фактично, є наслідком другого шляху, але оновлення топографічних карт, а тим більше векторних комп'ютерних карт відбувається значно рідше, ніж фотозйомка місцевості з супутника чи літака.

Наповнення паспортів річок регіону пропонується робити за результатами, отриманими усіма шляхами, у такій послідовності:

Етап 1. Паспортні дані, зібрані у третьому та виміряні у першому способах, використовуються за точку відліку.

Етап 2. Якщо по наявних фотографіях місцевості, отриманих другим способом, але пізніше, ніж проведення досліджень першим та третім способами, можна провести прямі вимірювання (довжина річки, кількість приток, площа заліснення басейну річки, площа боліт тощо), то їх слід провести та у такий спосіб уточнити чи додати паспортну інформацію. При цьому слід враховувати, що обсяг води у річці залежить від водного режиму, а її наявність та обсяг на фотографії — від часу, коли проводилось вимірювання. Наприклад, якщо фотографування проводилось у межений період і якась річка на фотографії відсутня, то це не означає, що її немає взагалі — просто вона тимчасово пересохла.

Етап 3. Якщо по фотографіях місцевості, отриманих другим способом, прямі вимірювання неможливі, а можливе лише їх якісне оцінювання, тоді ця інформація повинна враховуватись за тим же алгоритмом, що й інформація, отримана четвертим шляхом, тобто за експертними оцінками гідрологів-практиків.

3. Новий підхід до оцінювання паспортних даних річок на основі теорії нечітких множин

Зосередимось саме на процесі занесення інформації в паспорт річки на третьому етапі. Оскільки дані точних натурних вимірювань відсутні, а є лише їх непрямі оцінки, то, як було запропоновано в роботі [1], для обчислення самих паспортних даних річок слід застосовувати апарат теорії нечітких множин. Наведемо деякі положення зі статті [1]:

1. Оцінюємо характеристики річок не кількісно, а якісно з використанням апарата теорії нечітких множин [2–4].

2. Змінні приймають не числові значення, а семантичні, наприклад: "Дуже велика", "Велика", "Більше середньої", "Середня", "Низька", "Більш-менш середня", "Не дуже велика і не середня". Відповідно, самі змінні, наприклад "Ширина річки" стають "лінгвістичними" змінними, а їх варіанти значень — "термами" [2–4].

3. Вибирається тип функцій належності лінгвістичних змінних та метод дефазифікації. Як правило, це гаусова (дзвінницева) функція належності та метод дефазифікації за центром тяжіння [3, 4].

Запропонуємо конкретний математичний опис лінгвістичних змінних-параметрів річок на основі відомих підходів [2–4]. В якості універсальної множини U^* виберемо дев'ять внутрішніх точок відрізка $[0, 1]$, тобто

$$U^* = 0, 1 + 0, 2 + 0, 3 + 0, 4 + 0, 5 + 0, 6 + 0, 7 + 0, 8 + 0, 9, \quad (1)$$

котрих достатньо для дев'яти значень x кожної лінгвістичної змінної X , якими будемо вважати термножину:

$$\begin{aligned} & \text{"НМ"} — \text{"Надзвичайно малий"}, \\ & \text{"ДМ"} — \text{"Дуже малий"}, \\ & \text{"М"} — \text{"Малий"}, \\ & \text{"МС"} — \text{"Менший середнього"}, \\ & \text{"С"} — \text{"Середній"}, \\ & \text{"ВС"} — \text{"Вищий середнього"}, \end{aligned} \quad (2)$$

"В" — "Високий",
 "ДВ" — "Дуже високий",
 "НВ" — "Надзвичайно високий".

Зрозуміло, що множина усіх допустимих значень $[0, 1]$ означає, що усі значення змінних відносяться до їх максимально можливого значення.

Варто зазначити, що у виразі (1) символ «+» означає не операцію арифметичного додавання, а операцію множинного об'єднання елементів.

В літературі [2–4] є багато різних математичних описів функцій належності (ФН) — трикутні, прямокутні, параболічні, довільні, криві тощо. Усі вони мають свої недоліки та переваги. Для нашого випадку пропонується використовувати функцію належності $\mu_X(u)$ лінгвістичної змінної X у вигляді дзвіницевої гаусової функції:

$$\mu_X(u) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{u - m_X}{\sigma_X}\right)^2\right], \quad (3)$$

в якій для усіх нечітких обмежень x змінних X приймаємо

$$\sigma_X = 0,15, \quad (4)$$

а в якості параметра m_X — значення універсальної множини U^* , заданої виразом (1), взяті у тому ж порядку, тобто

$$\begin{cases} m_{HM} = 0,1; m_{DM} = 0,2; m_M = 0,3; \\ m_{HC} = 0,4; m_C = 0,5; m_{BC} = 0,6; \\ m_B = 0,7; m_{DB} = 0,8; m_{NB} = 0,9. \end{cases} \quad (5)$$

На рис. 1 наведено графіки деяких функцій належностей, математичний опис яких відповідає (3)–(5).

Як видно із (3)–(5) та рис. 1, вибрана функція належності має такі переваги: 1) однотипний математичний опис для різних термів, що спрощує їх обробку; 2) рівномірність інтервалів між функціями належності на осі зі значеннями з множини U , що забезпечує охоплення усіх можливих значень з інтервалу $[0, 1]$.

У разі виконання умов (3)–(5) та округлення значення ФН тільки до однієї цифри після розділової коми, отримуємо такі вирази для опису нечітких змінних x , які задаються термом-множиною (2):

$$HM = 1/0,1 + 0,8/0,2 + 0,4/0,3 + 0,1/0,4, \quad (6)$$

$$DM = 0,8/0,1 + 1/0,2 + 0,8/0,3 + 0,4/0,4 + 0,1/0,5, \quad (7)$$

$$M = 0,4/0,1 + 0,8/0,2 + 1/0,3 + 0,8/0,4 + 0,4/0,5 + 0,1/0,6, \quad (8)$$

$$HC = 0,1/0,1 + 0,4/0,2 + 0,8/0,3 + 1/0,4 + 0,8/0,5 + 0,4/0,6 + 0,1/0,7, \quad (9)$$

$$C = 0,1/0,2 + 0,4/0,3 + 0,8/0,4 + 1/0,5 + 0,8/0,6 + 0,4/0,7 + 0,1/0,8, \quad (10)$$

$$BC = 0,1/0,3 + 0,4/0,4 + 0,8/0,5 + 1/0,6 + 0,8/0,7 + 0,4/0,8 + 0,1/0,9, \quad (11)$$

$$B = 0,1/0,4 + 0,4/0,5 + 0,8/0,6 + 1/0,7 + 0,8/0,8 + 0,4/0,9, \quad (12)$$

$$DB = 0,1/0,5 + 0,4/0,6 + 0,8/0,7 + 1/0,8 + 0,8/0,9, \quad (13)$$

$$NB = 0,1/0,6 + 0,4/0,7 + 0,8/0,8 + 1/0,9. \quad (14)$$

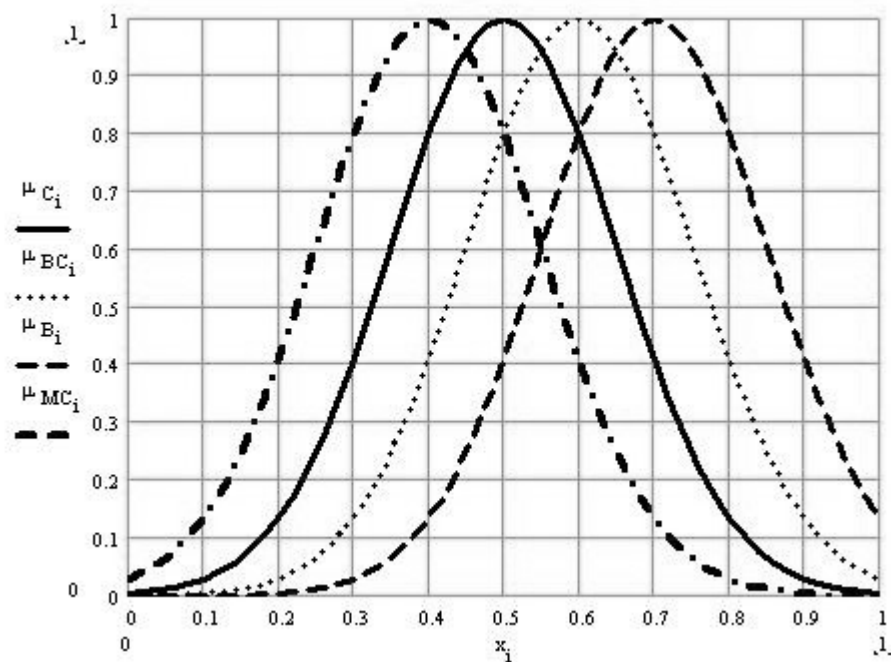


Рис. 1. Графіки функцій належностей термів "Менше середнього", "Середній", "Вище середнього" та "Високий"

Оцінки (2) можуть бути експертними оцінками експертів-гідрологів, що є відповіддю на друге питання з поставлених вище.

4. Види експертів та оцінювання їх ваги – довіри до їх оцінок

Традиційно, і не безпідставно, вважається, що експертне оцінювання за допомогою теорії нечітких множин дає найкращі результати, якщо оцінювання проводять багато (хоча б декілька) незалежних експертів. У нашому випадку, зрозуміло, це можуть бути групи експертів, які отримують інформацію різними шляхами:

1) група експертів — фахівці-картографи чи топографи за допомогою комп'ютерних (геоінформаційна технологія) чи паперових карт різного масштабу оцінюють певні паспортні дані річки на основі аналізу умовних позначень;

2) експерти з аналізу супутникової чи аерофотозйомки (у т.ч. фахівці з ГІС-технології);

3) експерти-учасники польових експедиційних досліджень або самі результати цих досліджень, висновки яких з часом застарівають, але можуть використовуватись не як домінуюча оцінка, а одна з багатьох, яка з певною ймовірністю може мати місце і зараз;

4) експерти-гідрологи, які знають весь регіон в цілому і більш-менш орієнтуються, в яких умовах яка річка може протікати;

5) експерти-гідрологи чи експерти іншого фаху, які курирують тільки частину регіону, наприклад, тільки одну водогосподарчу ділянку чи басейн річки, тільки один чи декілька адміністративних районів з їх річками, але постійно працюють чи проживають там і краще обізнані у змінах режиму протікання річок та можуть дати їх якісну характеристику на основі власного досвіду.

За усіма паспортними даними річок регіону експерт з кожної наведеної вище експертної групи робить свій висновок. Причому, не є обов'язковою участь експертів з усіх груп одночасно, наприклад, по деяких річках ніколи не робилась чи немає в наявності результатів аерофотозйомки чи польових експедиційних обстежень. Достатньо — хоча б три експерти.

При цьому, можна ввести ще й вагу коректності ("довіри до") ω експертних оцінок, яка може оцінюватись також на основі нечіткої оцінки усіх експертів експертних можливостей їх колег за такими критеріями:

1) наближеність до об'єкта (наприклад, висновок з натурних вимірювань має більшу вагу, ніж висновок, зроблений на аналізі карти у масштабі 1:500 000, або гідролог, який був безпосередньо на річці в різних її місцях, краще її може оцінити, ніж той, що був неподалік від неї чи бачив здалеку і може тільки здогадуватись про її характеристики);

2) давність обстежень чи наскільки давньою інформацією про об'єкт експерт користується

(наприклад, одна справа — детальні топографічні карти, але 1984 року, інша справа — дрібномасштабні супутникові карти, але 2004 року; одна справа — результати польових експедиційних досліджень, але 1989 року, інша справа — дані власних якісних обстежень експерта, але 2003 року);

3) особиста впевненість експерта (одна справа — оцінювання ширини за умовними позначеннями, інша справа — оцінювання глибини за цифровою матрицею рельєфу місцевості малого масштабу; одна справа — пряме оцінювання параметрів русла та течії річки у гирлі, де експерт сам був, інша справа — у середній течії, де він особисто не був і може тільки здогадуватись, враховуючи відомі йому непрямі фактори та особливості басейну річки, тощо);

4) фах експерта та обсяг його практичного досвіду у дослідженні річок (одна справа — гідролог за фахом, інша справа — еколог чи біолог, який вперше чує поняття “шорсткість дна русла”; одна справа — гідролог за фахом, але який працює в кабінеті і практично не виїжджає на місцевість, інша справа — еколог, який весь час обстежує екологічні умови існування біоти чи наслідки аварійних забруднень природи, в т.ч. у басейнах чи руслах річок).

Для оцінювання ваги коректності оцінок за цими критеріями можна використовувати весь наведений вище апарат теорії нечітких множин, ту ж терм-множину U^* , ту ж ФН (3).

Ідентифікація нечіткої моделі та формування логічного висновку за експертними оцінками багатьох експертів з урахуванням їх ваги проводиться за відомим алгоритмом та з використанням відомих співвідношень, детально наведених у роботі [2].

Окремо варто зупинитись на запропонованому альтернативному до традиційного експертному оцінюванню за наявним картографічним матеріалом за допомогою сучасних інформаційних комп'ютерних технологій.

5. Оцінювання параметрів малих річок за допомогою сучасних інформаційних комп'ютерних технологій

Як було зазначено вище, для оцінювання параметрів малих річок може бути використана геоінформаційна технологія. Наведемо декілька визначень.

З точки зору призначення *географічна інформаційна система (ГІС)* або *геоінформаційна система* — це інформаційна система, яка забезпечує збирання, збереження, обробку, доступ, відображення та поширення просторово-розташованих даних (просторових даних) [5]. З точки зору програмно-інформаційної реалізації ГІС — це сукупність електронних карт з умовними позначеннями об'єктів на них, баз даних з інформацією про ці об'єкти та програмного забезпечення для зручної роботи з картами і базами як з єдиним цілим.

ГІС-технологія — технологічна основа створення географічних інформаційних систем, які дозволяють реалізувати функціональні можливості ГІС [5].

Представлення об'єктів в геоінформаційних системах, яке дозволяє за його допомогою швидко розв'язувати численні задачі, пов'язані з просторовим аналізом, із застосуванням усіх можливостей геоінформаційної технології, основане на використанні *геоінформаційної моделі* цих об'єктів [6], [7].

Наприклад, модель річкової системи формується у вигляді направленої графа. Ребрами графа є притоки головної річки та притоки їх приток. Кожне ребро характеризується своїм набором параметрів. Спосіб формування графа залежить від особливостей ГІС-пакета, який використовується. Наприклад, в одному із найпотужніших російських ГІС-пакетів “Панорама” (www.gisinfo.ru) формування такої моделі класифікується як формування набору об'єктів. Для приєднання кожного об'єкта до набору слід зробити їх математичне та інформаційне (семантичне в термінах “Панорами”) приєднання.

1. Математична (топологічна) цілісність. Цілісність математичного описання координат забезпечується за допомогою інструменту редагування “Топології” – “Формування вузла”: притока річки “під'єднується” до головної річки, формуючи у місці з'єднання вузол — ця операція є обов'язковою (просто розташування позначення притоки на карті біля головної річки не дає можливості їх обробки як єдиної річкової системи), в результаті просторова модель притоки зазнає змін — її останньою точкою (гирлом) стає точка головної річки, в якій сформовано вузол, передостанні точки розраховуються шляхом інтерполяції, в залежності від способу, який раніше було вибрано для нанесення річки: кусочно-лінійна апроксимація чи сплайн-інтерполяція (згладжуючий чи огинаючий сплайн).

2. Інформаційна (семантична) цілісність. Формування набору починається з того, що у семантику головної річки набору “Головний об'єкт набору” заноситься номер цього набору. Далі послідовно вибираються мишкою усі об'єкти, які є складовими цього набору — притоки річки, при цьому є обов'язковим виконання для них попередньої умови, тобто вони повинні мати хоча б одну точку зі спільними координатами з головною річкою. Після завершення вибору у кожному з цих під'єднаних об'єктів у семантику “Підлеглий об'єкт набору” заноситься той же номер, що й було занесено в семантику “Головний об'єкт набору” головної річки набору. Цілісність забезпечена.

Приклад результату наведено на рис. 2.

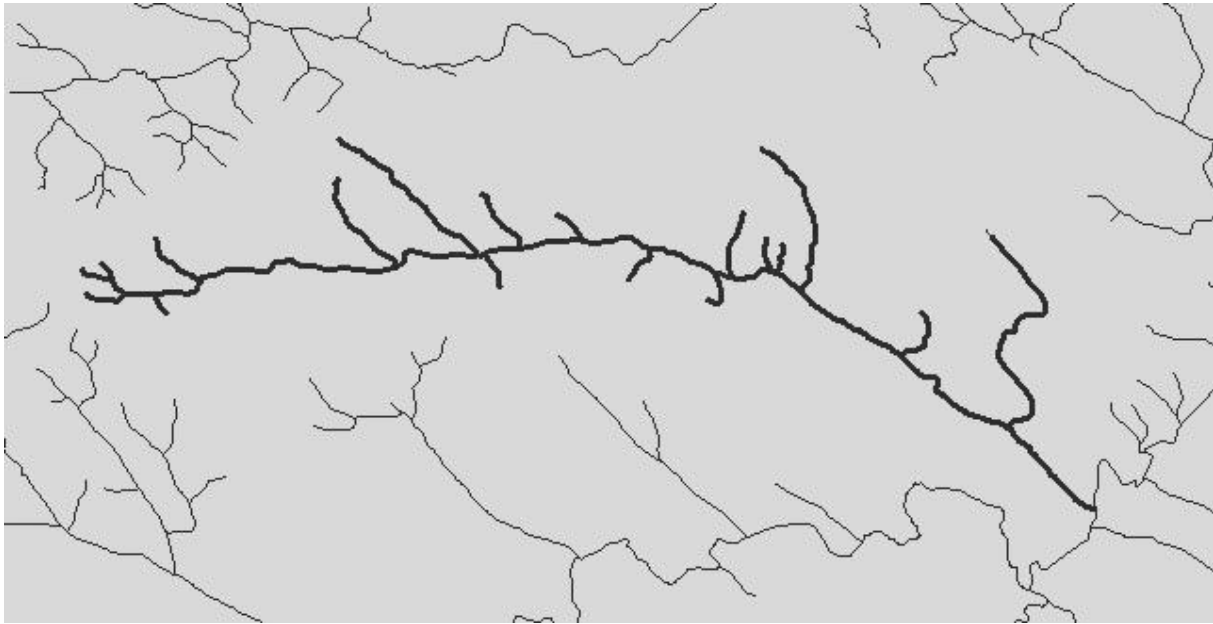


Рис. 2. Приклад графа-набору об'єктів – геоінформаційної моделі річкової системи

На рис. 2 зображено фрагмент карти Вінницької області, яка редагувалась у Вінницькому національному технічному університеті в межах виконання проекту "Розробка і впровадження геоінформаційної аналітичної системи моніторингу поверхневих водних ресурсів області (паспортизація малих річок і водойм, кількісне та якісне оцінювання їх стану)", виконаного на замовлення Держуправління екології та природних ресурсів у Вінницькій області у 2003–2004 роках колективом вчених та студентів університету під керівництвом автора цієї статті. Створений програмно-інформаційний комплекс впроваджено у всіх обласних суб'єктах моніторингу вод Вінницької області. В даний час створюються аналогічні системи по інших складових довілля в межах єдиної геоінформаційної системи державного моніторингу довілля Вінницької області.

Якщо, наприклад, головна річка, в свою чергу, теж є притокою іншої, "більш головної" річки, тоді і для неї повинна повторюватись вся процедура під'єднання як в математичному, так і в інформаційному плані. При цьому ГІС-пакет "Панорама" дозволяє під'єднувати набір раніше головної річки, а тепер притоки, до "більш головної" річки двома способами: як на рівних правах (кожен набір сам по собі), так і за схемою "головний/підлеглий". Другий спосіб дозволяє легко формувати річкову систему великої річки, притоками якої є середні річки, а в них — малі, і кожна зі своїм набором приток. Своєрідний граф графів. Описана технологія може застосовуватись і для інших видів об'єктів, наприклад, для доріг.

В ГІС-пакеті ArcInfo 8.x подібні набори об'єктів утворюють "базу геоданих", яка містить інформацію про топологічні зв'язки об'єктів разом з їх умовними позначеннями та їх атрибутами. Річкова система, яка створена за правилами бази геоданих, утворює в термінах ArcInfo 8.x геометричну мережу, для моделювання процесів в якій є відповідний ГІС-інструментарій [6].

У відповідності до поставлених у роботі задач важливою є ще одна процедура — формування цифрової моделі (матриці) рельєфу (ЦМР) [5–7]. В ГІС-пакеті "Панорама" ЦМР є основою окремого виду карт — матричних карт (рис. 3).

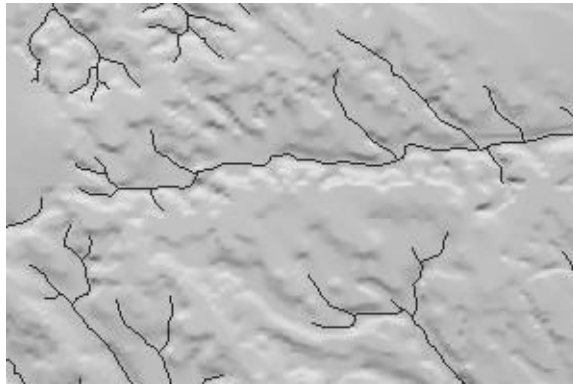


Рис. 3. Приклад імітації тривимірності цифрової моделі рельєфу басейнів малих річок (ГІС-пакет "Панорама" версії 7.x)

Формування ЦМР є складним математичним процесом, в основі якого лежить двовимірною інтерполяція певним методом значень висотної координати усіх об'єктів, які є на карті і які беруться до уваги (можна відфільтрувати окремі з них і обробляти тільки деякі). За ЦМР можна легко перейти до іншої координатної системи чи проекції, зробити трансформацію карти та виконати інші операції.

Але в межах поставлених у роботі задач ЦМР може бути використана для визначення з певною точністю таких параметрів річок, як:

- 1) відмітка витоку та гирла, метри над рівнем моря;
- 2) схил місцевості, м/км;
- 3) площа водозбірного басейну, км²;
- 4) площа водозбірного басейну з урахуванням рельєфу, км²;
- 5) схил водозбору середній, м/км;
- 6) середня висота водозбору, метри над рівнем моря;
- 7) площа водозбору в межах області з урахуванням рельєфу, км²;
- 8) довжина річки з урахуванням рельєфу, км.

Окрім інших важливих параметрів найбільшу цінність для поставлених у роботі задач має параметр "Площа водозбірного басейну". За умови, що основним джерелом формування річки є дощовий стік (а це має місце для більшості річок України), такий один з основних параметрів річки як різного роду витрати води, повинен мати залежність від площі водозбірного басейну.

Пропонується такий алгоритм оцінювання витрат води:

- 1) виділяються регіони зі схожими з точки зору формування річкового стоку характеристиками;
- 2) в кожному регіоні ідентифікуються залежності (функціональні або регресійні) різного роду витрат води від площі водозбірного басейну для тих річок і тих їх створів, по яких є паспорти річок;
- 3) для інших річок регіону за площею водозбірного басейну та ідентифікованими залежностями оцінюються різного роду витрати води цих річок.

З урахуванням обґрунтованої вище необхідності в оцінюванні паспортних даних не тільки усієї річки, а й в її окремих створах, а також того, що у кожного з цих створів різна водозбірна площа, виникає задача оцінки цієї площі.

Зрозуміло, що обчислення площі водозбірного басейну легко здійснювати за допомогою стандартних обчислювальних методів по самій карті, маючи лінійний об'єкт "Границя водозбірного басейну". Однак, як правило, на картах регіону у масштабах в 1 см–1 км і більше такий об'єкт відсутній, а якщо і є, то будується, що називається, "на око". Зрозуміло, що границь водозбірних басейнів річок для їх окремих створів взагалі на картах не існує (див. рис. 3).

Більш коректним є автоматичне оцінювання контуру цього об'єкта по самій ЦМР із застосуванням обчислювальних методів, виходячи із припущення, що висоти ЦМР у басейні повинні зменшуватись у напрямку річки. Деякі західні розробники ГІС-пакетів, наприклад корпорація ESRI (США), заявляють про розв'язання цієї задачі, наприклад в межах програмних продуктів родини "Arc" (остання версія – ArcGIS 9), але лишається відкритим питання похибки отриманого рішення. Вона виникає, коли на границі двох водозбірних басейнів є велика територія з однаковою абсолютною висотою, або коли в межах водозбірного басейну є області локального збільшення висот, безсточкові озера тощо (див. рис. 3). Крім того, на похибку суттєво впливає і якість та точність топографічної основи самої карти та ідентифікованої по ній ЦМР зі своїми обчислювальними похибками під час ідентифікації та інтерполяції. Ці питання ще потребують належного вивчення та розв'язання.

Для того, щоб обійти проблему неточності визначення границі водозбірного басейну для довільного

створу річки за ЦМР карти, пропонується використовувати оцінені по них паспортні дані річки лише як один із варіантів експертної оцінки цих даних під час їх ідентифікації на основі теорії нечітких множин. Інформація ж про якість та точність топографічної основи карти та ідентифікованої по ній ЦМР зі своїми обчислювальними похибками під час ідентифікації та інтерполяції, про розміри територій з однаковою абсолютною висотою на границі двох водозбірних басейнів, про області локального збільшення висот, безстоківі озера тощо повинно впливати на визначення ваги оцінок паспортних даних, отриманих за геоінформаційною моделлю річки, у порівнянні з іншими оцінками.

Оцінювання описаних вище паспортних даних річки за її геоінформаційною моделлю дозволяє автоматично оцінювати й інші паспортні дані, використовуючи відомі співвідношення та інструментарій ГІС в межах прикладних програм, що має доступ до ГІС-моделей.

1. Коефіцієнт звивистості η оцінюється на основі аналізу координат лінійного об'єкта "річка" між його першою точкою (витоком річки) та заданою.

2. Лісистість, озерність та подібні їм — на основі порівняльного аналізу площі водозбірного басейну і площі відповідних об'єктів (лісів, озер тощо).

3. Кількість приток, довжина яких більша або дорівнює 10 км та кількість таких, в яких вона менша за 10 км, — на основі аналізу геоінформаційної моделі відповідної річкової системи.

4. Оцінювання середніх ширини w та глибини H річки можливо або на основі аналізу ЦМР, якщо дозволяє її роздільна здатність, або на основі певних залежностей від площі водозбірного басейну.

5. Коефіцієнт шорсткості дна русла n можна оцінити на основі аналізу карти ґрунтів регіону, оцінки витрат річки Q та з урахуванням оцінки коефіцієнта звивистості η . Відповідно можна отримати оцінку коефіцієнту Шезі C за відомою формулою Манінга для річкових потоків та каналів [8]:

$$C = \frac{1}{n} \sqrt[4.75]{\eta H} . \quad (15)$$

6. Оцінювання середньої швидкості v течії річки:

а) обчислюється середній схил I річки між створом, що досліджується, та витоків річки (за її координатами на карті);

б) проводиться обчислення оцінки середньої швидкості річки v через коефіцієнт Шезі C та середню глибину H за відомим співвідношенням для нерівномірної течії річки, яке є справедливим для ділянок річок довжиною, принаймні, в кілометри та десятки кілометрів, коли можна не враховувати відносні зміни "живої сили" річкових потоків [8]:

$$v = C \sqrt{HI} . \quad (16)$$

7. Коригування оцінок величин середньої швидкості, витрат та глибини на основі відомого співвідношення (воно є абсолютно справедливим тільки для каналів з прямокутним руслом, але в першому наближенні часто застосовується і для малих річок, в яких ширина значно більша за глибину) [8]:

$$Q = H \cdot w \cdot v , \quad (17)$$

тобто, якщо три з цих параметрів було оцінені досить точно, тоді інший можна підкоригувати.

Отримані оцінки, зрозуміло, будуть інтегрувати в собі неточність картоматеріалу, неточність його векторизації, неточність його трактування та обробки, але все ж таки можуть бути однією з декількох експертних оцінок заданих паспортних даних річок.

Подальший розвиток досліджень у розглянутому в роботі напрямку повинен здійснюватись в галузі деталізації алгоритмів розрахунку експертних оцінок та розробці програмних засобів для широкого застосування запропонованої технології на практиці.

6. Висновки

В роботі розглянуто такі задачі:

1. Якими шляхами можна збирати інформацію про паспортні дані річок?
2. Як слід вибирати нечіткі лінгвістичні змінні (паспортні характеристики) річок та з якими характеристиками, котрі повинні оцінюватись за, часто неповною, інформацією про паспортні дані річок?
3. Якими можуть бути експертні оцінки значень лінгвістичних змінних?
4. Чи можна і як здійснювати альтернативне до традиційного експертне оцінювання за наявним картографічним матеріалом за допомогою сучасних інформаційних комп'ютерних технологій?

Виділено чотири шляхи для збирання паспортної інформації про річки. Запропоновано послідовність їх використання. Параметри річок пропонується розглядати як лінгвістичні змінні і обробляти з використанням математичного апарату теорії нечітких множин. Вибрано базовий набір термів, функцій належності та метод їх дефазифікації. Охарактеризовано склад та можливості груп експертів, які можуть проводити оцінювання на практиці. Запропоновано введення вагового коефіцієнта коректності або

довіри до експертних оцінок та підходи до його оцінювання також на основі теорії нечітких множин.

Основну увагу в роботі приділено альтернативному до традиційного експертному оцінюванню за наявним картографічним матеріалом за допомогою сучасних геоінформаційних комп'ютерних технологій. Детально описано процес формування геоінформаційної моделі річкової системи в російському ГІС-пакеті "Панорама" версії 7.x та стисло охарактеризовано відміни цього процесу в ГІС-пакеті "ArcInfo" версії 8.x. Охарактеризовано алгоритм та особливості синтезу цифрової моделі рельєфу (ЦМР).

Запропоновано, які параметри річок і з використанням яких математичних співвідношень можна оцінювати за їх геоінформаційною моделлю та цифровою моделлю рельєфу. Зазначено проблеми точності розрахунків. Запропоновано їх усувати шляхом використання результатів оцінювання як одного із варіантів оцінки різними групами експертів.

Отримані результати дозволять провести ідентифікацію та актуалізацію паспортних даних річок регіону, необхідних для ідентифікації математичних моделей якості та стану їх вод, використовуючи вже накопичену інформацію, практичний досвід фахівців та створені карти і ГІС, без проведення додаткових вартісних експедицій чи польових досліджень, що дасть великий екологічний та економічний ефект.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мокін В.Б. Новий підхід до розробки моделі процесів змішування стічних вод із річковими на основі теорії нечітких множин // Вісник ВПІ. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — № 6. — 2003. — С. 180–186.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к понятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 168 с.
3. Митюшкин Ю.И., Мокін Б.И., Ротштейн А.П. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. — 145 с.
4. Буяльская Т.Б., Мокін Б.И., Мокін А.Б. Нечеткие математические модели в задачах экспертизы художественных произведений // Труды Международной научной конференции "Автоматика-2000". — Львів. — Т. 2. — С. 43–48.
5. Бусыгин Б.С., Гаркуша И.Н., Серединин Е.С., Гаевенко А.Ю. Инструментарий геоинформационных систем: Справочное пособие. — К.: ИРГ "ВБ", 2000. — 172 с.
6. Зейлер М. Моделирование нашего мира: Пособие ESRI по проектированию баз геоданных. — К.: ЕСОММ, 2003. — 254 с.
7. Митчел Э. Руководство по ГИС-анализу. Пространственные модели и взаимосвязи. — К.: ЕСОММ, 2000. — 180 с.
8. Караушев А.В. Речная гидравлика. Курс общей и специальной гидравлики для гидрологов. — Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. — 416 с.

МОКІН Віталій Борисович – кандидат технічних наук, доцент кафедри моделювання та моніторингу складних систем, директор Інституту магістратури, аспірантури та докторантури Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- моніторинг;
- математичне моделювання;
- прогнозування та управління екологічними процесами, в т.ч. поліпшенням якості річкових вод;
- кібернетика, бази даних, геоінформаційні системи;
- універсальна мова моделювання (UML-діаграми) складних програмних систем.

Тел.: (0432) 44-02-91, 44-05-19;

E-mail: vmokin@vstu.vinnica.ua

Подано 25.10.2004

Мокин В.Б. Ідентифікація параметрів малих річок на основі теорії нечітких множин за експертними оцінками та їх геоінформаційною моделлю

Мокин В.Б. Идентификация параметров малых рек на основе теории нечетких множеств по экспертным оценкам и по их геоинформационным моделям

Mokin V.B. The Identification of Parameters of Small Rivers on the Basis the Fuzzy Sets Theory on Experts Estimations and on Geoinformation Models of Rivers.

УДК 681.51+519.6

Ідентифікація параметрів малих річок на основі теорії нечітких множин за експертними оцінками та їх геоінформаційною моделлю / В.Б. Мокин

Робота присвячена розробці нового методу ідентифікації параметрів малих річок на основі апарату теорії нечітких множин як альтернативи вартісному методу польових обстежень річки. Метод використовує вже накопичену інформацію, практичний досвід фахівців та наявний картографічний матеріал. Наведено основні характеристики параметрів річок як лінгвістичних змінних. Описано процес формування геоінформаційної моделі річки та цифрової моделі рельєфу та запропоновано математичні співвідношення для оцінювання параметрів річок за цими моделями на основі комп'ютерних геоінформаційних технологій

УДК 681.51+519.6

Идентификация параметров малых рек на основе теории нечетких множеств по экспертным оценкам и по их геоинформационным моделям / В.Б. Мокин

Работа посвящена разработке нового метода идентификации параметров малых рек на основе аппарата теории нечетких множеств как альтернативы дорогому методу полевых исследований рек. Метод использует уже накопленную информацию, практический опыт специалистов и имеющийся картографический материал. Приведены основные характеристики параметров рек как лингвистических переменных. Описан процесс формирования геоинформационной модели реки и цифровой модели рельефа. Предложены математические соотношения для оценивания параметров рек по этим моделям на основе компьютерных геоинформационных технологий.

УДК 681.51+519.6

The Identification of Parameters of Small Rivers on the Basis the Fuzzy Sets Theory on Experts Estimations and on Geoinformation Models of Rivers / V.B. Mokin

The paper is dedicated to the development of new method for identification of parameters of small rivers on the basis of the apparatus of the fuzzy sets theory as an alternative to the expensive method for field survey of the rivers. The method uses the gained information, practical experience of specialists and the available mapping material. There had been given the basic characteristics of river parameters as linguistic variables. There had been described the process of forming the geoinformational river model and digital relief model. There had been suggested the mathematical relationships for evaluation of the river parameters according to these models on the basis of computer geoinformational technologies.