

Костріков С.В.

## ФОРМАЛІЗОВАНЕ ПОДАННЯ ПРОЦЕСУ ФЛЮВІАЛЬНОГО РЕЛЬЄФОУТВОРЕННЯ

Вступ до проблеми. Геоморфологія вивчає відносини між формами рельєфу і геоморфологічним процесом. Відповідно до цього, *геоморфологічне середовище* має бути візуалізоване як *система*, у окремому випадку - як *гідролого-геоморфологічна система річкового водозбору*. У загальному розумінні останній як об'єкт гідролого-геоморфологічного дослідження визначається площею, із якої вода стікає в окреме русло, або у сукупність русел. Ця площа звичайно відокремлюється від сусідніх територій вододілом, і в її межах розташована вказана сукупність русел постійних, або тимчасових водотоків.

Нами вже підкреслювалася доцільність впровадження процедури *геоінформаційного моделювання* відповідно особливостей саме рельєфу й гідрологічного режиму водозбірних басейнів [1]. Подібний підхід – реалізація *просторового гідролого-геоморфологічного аналізу* - ґрунтується на тому, що водозбірні басейни є найбільш значним типом одиниць природного морфогенетичного районування земної поверхні у регіонах поширення водно-ерозійної (флювіальної) морфоскульптури. При цьому головним предметом моделювання доцільно брати взаємодію двох складових природного довкілля водозборів – *флювіального рельєфу* і їх *гідрологічного режиму* – та особливості їх *відгуку-реакції* на зміну характеру і ступеню впливу зовнішніх факторів довкілля. Дві вказані складові структурно поєднуються у єдине ціле, оскільки морфологічною основою басейну є система взаємо-сполучених русел постійних і тимчасових водотоків, а також утворених ними річкових долин, ярів, балок і порожнин. Всі останні відносяться до форм флювіального рельєфу, які утворюються відповідно *гідролого-геоморфологічного відгуку (ГГВ)* водозбору на метеорологічні і гідрологічні явища, що мають місце в межах басейну. Зрозумілим чином проблеми визначення ГГВ на зміни у довкіллі, які мають місце через низку природних та антропогенних чинників, будуть торкатися питань “чутливості природно-антропогенних ландшафтів”, тобто їх сприятливості до змін у зовнішньому (по відношенню до них) середовищі, а також – питань “динамічної рівноваги стану ландшафтів” та “граничних значень чинників впливу на ландшафти” [2, 3]. Однак, треба визнати, що вказані дефініції із значними труднощами підпадають під будь-який аналітичний опис, а якщо подібний опис і вдається зробити, частіше за все він залишається адекватним лише за дуже обмеженим масштабом досліджень.

Із багатьох публікацій як різних дослідників, так і наших власних, можна зробити безперечний висновок, що геоморфологічні системи є дуже складними, а відносини між їхніми компонентами рідко є прямими або очевидними [4-8]. Ці природні геоекологічні системи демонструють безліч характеристик, які потребують опис, пояснення і прогноз їх варіацій, що все разом складає зміст дуже заплутаних дослідницьких задач. Такі характеристики можуть відбивати:

- *Нескінченно складні структури* і, таким чином, дуже важко визначити значущі системні межі, які дали б можливість предмету дослідження бути розділеному на адекватно керовані і доречні сутності.
- *Невіддільні і заплутані процеси*, котрим властива просторова і тимчасова мінливість, і істотна помилка їхнього моделювання може асоціюватися із навіть найретельніше розробленими програмою польових досліджень, концептуальною моделлю або програмним забезпеченням. Таким чином, майже неможливо застосовувати повністю адекватну модель, наприклад, річкового водозбору і отже точно описувати системну структуру і поведінку відповідної флювіальної геоморфосистеми.
- *Спосіб функціонування геоморфологічних систем* суттєвим чином залежить від масштабу. Це, власно, підтверджується фрактальними дослідженнями топографічної поверхні [9, 10]. Рельєфу водозбору повністю *не притаманні* фрактальні властивості. Залежно від масштабу, в якому будь-яка геоморфологічна система розглядається, є вельми різні набори відповідних законів, які працюють.
- *Випадковість та імовірність* - властиві особливості всіх природних, у тому числі і геоморфологічних, систем. Тому пошук пояснення і адекватний прогноз в геоморфології не можуть бути обмежені просто детермінованим підходом.

Чотири приведених вище пункти узагальнення особливостей геоморфологічних систем відбивають чотири принципових методологічних положення, які є частиною теоретичних підвалини прикладної концепції геоінформаційного моделювання, яку автори розвивають вже протягом багатьох років [1, 6-8, 12]. Звертаючись в попередніх публікаціях до питань комп'ютерного моделювання та картографування базових класів ГІС-об'єктів (об'єктів, які є головним предметом моделювання і картографування за допомогою геоінформаційних систем – ГІС), ми вже підкреслювали доцільність впровадження такої процедури відповідно особливостей рельєфу й гідрологічного режиму річкових та яружно-балочних водозборів. Обидва вказані компоненти можуть відобразитися певною сукупністю ГІС-об'єктів і мають бути прийнятим до уваги при формалізації опису водозбору як об'єкта моделювання. Такий підхід може розцінюватися окремою спробою подання геоморфологічних систем із врахуванням їх головних загальних характеристик, про які йшлося вище. Із цього визначення випливає **ціль нашої статті**: розглянути оригінальну методику формалізованого подання процесу флювіального рельєфоутворення у річковому водозборі і навести приклад реалізації цієї моделі через відповідне програмне забезпечення авторської розробки.

**Математична модель для формалізованого подання флювіального рельєфу.** *Цифрова модель місцевості (ЦММ), цифрова модель рельєфу водозбору (ЦМРВ) і геоінформаційна модель* останнього (ГІМВ) – всі вони належать лише до двох класів: класу *прикладних* (дві перші) і *методологічних моделей* (ГІМВ). Математичні ж моделі для автоматизованого подання флювіального рельєфу можна віднести до проміжного класу *методичних моделей*. **Математична модель флювіального рельєфу** (ММ ФР) – це формалізований опис систематизованої сукупності природних об'єктів (форм і елементів рельєфу), процесів (рельєфоутворення) і явищ (перш за все – гідрологічних) із допомогою необхідної математичної символі-

ки. Зауважимо, що математичний апарат, який подається в цій доповіді, взагалі відповідає умовам детерміністських моделей. ММ ФР не може використовуватися в середовищі ГС сама по собі, а має бути зв'язана із базою даних і базою знань геоінформаційної системи. Головною перешкодою до організації відповідної БД дотепер можна було вважати як раз відсутність строгих формалізованих алгоритмів виділення мереж флювіального рельєфу по ЦММ типу *регулярна сітка висот* (PCB). В нашій доповіді будуть запропоновані такі алгоритми і приведені конкретні приклади їхньої роботи на *матриці гідрологічного процесу* (МГП). Водночас, робота цих алгоритмів передбачає формування відповідної БД ГС у такому розумінні, як це викладалося в деяких із наших попередніх публікацій [12].

*Основні визначення і математична постановка задачі.* Вважаємо територію, яка подається на ЦММ - PCB *ареною флювіального рельєфоутворення*. Нехай  $G$  - деяка замкнута область даних на ЦММ, а  $\partial G$  - її границя, і на області  $G$  задана деяка функція  $Z=Z(x, y)$  ( $x, y \in G$ ),  $Z \in C'$ . Назвемо функцію  $Zr(0)$  *функцією флювіального рельєфоутворення* (ФФРУ), якщо задовольняються три наступні вимоги:

$$1) \forall(x, y) \in G: \left\{ \frac{\partial Z(x, y)}{\partial x} = 0, \frac{\partial Z(x, y)}{\partial y} = 0 \right\} \Rightarrow \forall \varepsilon > 0 \quad (1)$$

$$\forall(x', y') \in V_\varepsilon(x, y)$$

$$Z(x', y') < Z(x, y), \text{ де } V_\varepsilon - \varepsilon - \text{ околиці точки } (x, y)$$

$$2) \exists!(x_M, y_M) \in \partial G: Z(x_M, y_M) < Z(x, y) \forall(x, y) \in G \quad (2)$$

3) Можна побудувати рекурентну послідовність радіус-векторів у вигляді:

$$\vec{P}_k = \vec{P}_{k-1} - \varepsilon Q_{k+1} \quad \vec{P}_0 = (x_0, y_0) \in G, \quad \vec{q}_k = \text{grad}(Z(x_k, y_k)) \quad (3)$$

$$\text{Тоді} \quad \lim_{\substack{\varepsilon \rightarrow 0 \\ k \rightarrow \infty}} \vec{P}_k = P_M \quad \vec{P}_M = (x_M, y_M), \quad \forall(x_0, y_0) \in G \quad (4)$$

Перша умова (1) означає, що  $r(0)$  – функція ФФРУ, яка не може мати локальних мінімумів, і кожен її екстремум є максимумом. Друга умова (2) полягає в одиничності глобального мінімуму функції  $Z(x, y)$  в області  $G$  і досягненні його на границі області  $\partial G$ . Третя умова (3), (4) затверджує факт з'єднання всіх градієнтних ліній у єдиній точці мінімуму. Фактично приведені визначення є одним з можливих визначень для топографічної компоненти *гідролого-геоморфологічної системи водозбору* (ГГСВ).

Назвемо деяку функцію  $Z'(x, y)$  ( $x, y \in G$ ,  $r(S, Z(x, y))$ ) функцією класу ФФРУ, якщо знайдеться така  $r(0)$  – ФФРУ-функція  $Z(x, y)$  ( $x, y \in G$ ), що  $S(Z(x, y) - Z'(x, y))/dx dy < S$ . Очевидно, що перевірка на три приведені вище умови визначає міру відхилення деякої функції  $Z'$  від  $r(0)$  – ФФРУ, і цю міру відхилення взагалі описує значення  $S$ . Очевидно, також, що в кожній області можна побудувати будь-яку кількість  $r(0)$  – ФФРУ-функцій. (Наприклад, усі строго монотонні функції двох перемінних  $r(0)$  – такі функції). З останнього твердження випливає, що, узагалі говорячи, достатньо легко для будь-якої  $Z(x, y)$  побудувати  $r(S, Z(x, y))$  - флювіальну функцію на  $G$ , якщо вибрати  $S$  досить великим. Для цього, наприклад, можна взяти будь-яку строго монотонну функцію на  $G$ , у якої мінімальне значення збігається з максимальним для функції  $Z(x, y)$ . Питання, однак, полягає в тому, щоб підібрати  $S$  мінімальним із усіх можливих значень. Фактично мова йде про позбавлення шуканої функції від локальних екстремумів, тому що на виконання умов 2) або 3) при виконанні умові 1) означає, що область  $G$  можна розбити на декілька незалежних підобластей, на кожній з яких функція  $Z'$  виявиться  $r(0)$  – функцією ФФРУ.

*Зв'язок із реальною топографічною поверхнею і перехід до моделі, адекватної ЦММ – PCB.* При обробці даних про рельєф, знятих з топографічної карти, як правило, приходиться стикатися із *суттєвою зашумленістю* даних. Остання зв'язана з цілим рядом обставин підготовки інформації, з яких найбільш важливими є наступні: 1) на дрібномасштабних картах викривлення є наслідком невдалих генералізацій; 2) при знятті з будь-якої карти інформації з дискретним кроком виникає неминуча втрата точності; 3) помилки є результатом часткового застосування ручних і напівавтоматизованих методів. Дані, що описують реальну топографічну поверхню річкового басейну подаються у вигляді деякої сіткової функції  $[Z_H]G$ , де  $H$  – крок зняття інформації, або – та ж сама чарунка ЦММ/ЦМРВ, про яку йшлося у попередньому розділі. Через зазначені вище обставин, функція  $Z_H$  рідко буває  $r(0)$  – функцією класу ФФРУ і часто містить цілий ряд локальних екстремумів. Разом з тим, для визначення, припустимо, умовних «ліній стоку» необхідно домогтися  $r(0)$  – відповідності функції  $Z_H$ , тому що в протилежному випадку (через невиконання умови 3) – (3), (4) картина маршрутизованого стоку буде істотно перекручена. Таким чином, першим кроком обробки реальних даних є визначення підобластей відхилення функції  $[Z_H]G$  від  $r(0)$  – функції ФФРУ. Далі ми викладаємо *шість оригінальних алгоритмів*, які, власно, і складають *реалізацію ММ ФР на матриці гідрологічного процесу* (МГП). Ця математична модель флювіального рельєфу є розвитком напрямку автоматизованого моделювання, який вже достатньо давно заснував наш багаторічний співавтор – Б.Н. Воробйов [6, 13]. Вказаний напрямок став однією із найважливіших передумов всієї сучасної методології геоінформаційного моделювання.

Ми назвемо шість послідовних алгоритмів формалізованого подання процесу рельєфоутворення тільки у вигляді *заголовків їх окремих кроків*. У такому вигляді *перший алгоритм перетворення первинної сіткової функції  $[Z_H]G$  до  $r(0)$  – функції ФФРУ* виглядає наступним чином:

*Крок 1.* [Установити усі вузли, що стікають “самі в себе”, тобто локальні мінімуми функції  $[Z_H/G]$ .

*Крок 2.* [Установлення локальних екстремумів].

*Крок 3.* [Установлення ліній гідрологічного стоку – елементів мережі]. Кожна чарунка МГП після виконання *алгоритму 1* містить число ліній стоків, що проходять через неї.

Наступним кроком обробки інформації є побудова зв'язних деревоподібних флювіальних мереж, що потім будуть основою для формування бази даних. Побудова цих структур здійснюється на базі сформованих за допомогою *алгоритму 1* матриць гідрологічного процесу, як ці матриці подаються у попередньому розділі роботи. Кожен елемент МГП належить до однієї із *чотирьох груп* – або вищих, або нижчих відміток, або до чарунок із напрямками стоку, або до чарунок із напрямками стоку на плоских ділянках [11, с. 33]. Кожний елемент *флювіальної мережі* (ФМ), що була сформована, вважається елементом так званої “*спискової ерозійної структури*” [6, 13], і в такому значенні повинний містити координати будь-якої описуваної точки елемента мережі, її амплітуду, посилання на топологічно сусідні точки цієї ФМ, а також посилання на лінійний список, що описує границю водозбору в даному елементарному створі (який замикає) на даній МГП.

*Другий алгоритм* виконує побудову спискових деревоподібних ФМ.

*Крок 1.* [Початкові установки].

*Крок 2.* [Побудова елемента мережі].

*Крок 3.* [Звертання до стека].

*Крок 4.* [Обробка матриці гідрологічного процесу].

*Крок 5.* [Зв'язок окремих ерозійних структур у загальний список].

У результаті роботи *алгоритму 2* отримана *спискова ФМ досліджуваної ділянки*. Наступним кроком є *порядкове бонітування* елементів побудованої мережі.

*Третій алгоритм* стосується *встановлення порядків елементів ФМ*.

*Крок 1.* [Початкові установки].

*Крок 2.* [Аналіз поточного блоку].

*Крок 3.* [Обхід мережі за принципом “переміщення вліво”].

*Крок 4.* [Звертання до стека].

*Крок 5.* [Установка порядку точки ФМ, або вузла злиття її елементів].

Отже, порядки виділеної ФМ встановлені, і є її повна інформаційна картина. Тепер необхідно для кожного незалежного талвегу виділити границю його водозбірного басейну. Тим самим кожен басейн виявиться незалежно від інших описаним своїми *головним руслом і границею*, тобто буде отримано *логічний елемент бази даних*.

*Четвертий алгоритм* виконує *виділення й упорядкування границі елементарного водозбірного басейну*.

*Крок 1.* [Виділення площі басейну].

*Крок 2.* [Визначення точок границі].

*Крок 3.* [Упорядкування виділеної границі].

*Крок 4.* [Уточнення границі].

На цьому *положення границі водозбору* вважається *визначеним*. Тепер, скориставшись *алгоритмом 4*, необхідно установити границю для всієї флювіально-ерозійної мережі.

*П'ятий алгоритм* відповідає за *встановлення границь субводозборів порядку вищого аніж елементарний водозбірний басейн*.

*Крок 1.* [Початкова обробка].

*Крок 2.* [Визначення гирлової точки незалежного водозбору].

*Крок 3* [Звертання до стека].

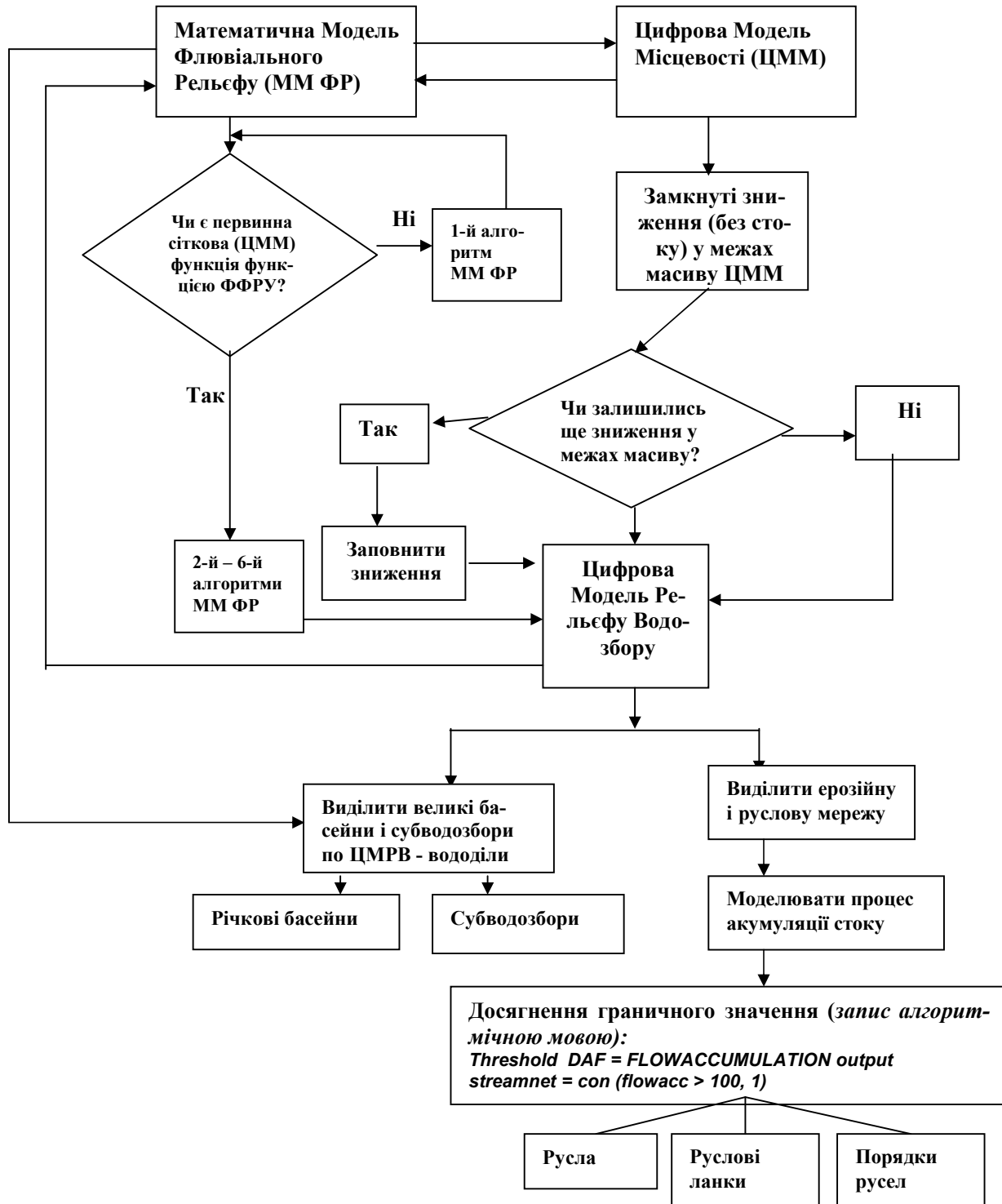
Таким чином, отримана повна інформаційна структура, що описує флювіальні мережі розглянутої ділянки топографічної поверхні. Ці змодельовані в ММ ФР мережі будуть еквівалентні природним русловим мережам і границям їхніх водозбірних басейнів у тому випадку, якщо *правильно* як первинна ділянка обраний певний водозбірний басейн – *елементарний водозбір*. Останньою логічною підмножиною бази даних, яка формується, є сукупність особливих точок і ліній на рельєфі, що не відносяться до структурного каркаса рельєфу. У першу чергу, це ділянки кожного незалежного водозбору, що перетерпіли зміни в процесі роботи *алгоритму 1*, тобто поверхня даного водозбору була приведена до  $r(0)$  – вигляду флювіального рельєфоутворення.

*Шостий* (і останній в цьому ряду) *алгоритм* робить *визначення особливих областей відхилення від властивостей, притаманних топографічній поверхні  $r(0)$  – вигляду флювіального рельєфоутворення, умовно – “області ФФРУ”*.

Таким чином, *три найсуттєвіших компоненти*, що подають гідролого-геоморфологічну систему водозбору, адекватно моделюються через подану формалізовану ММ ФР. Це, *по-перше*, флювіальна мережа, *по-друге*, границі водозбірних басейнів – вододіли і, *по-третє* – “особливі точки” рельєфу. Інформація щодо результатів моделювання організується в БД ГІС відповідно принципів, викладених раніше [7, 12]. На жаль, викладений вище спосіб приведення функції до  $r(0)$  – “області ФФРУ” досить часто не реалізується, тому що на практиці *алгоритм 1* погано сходиться для більшості реальних топографічних поверхонь складної флювіальної структури. У цьому випадку, на відміну від алгоритмів формалізованої ММ ФР необхідно використовувати ряд алгоритмів так званої *маршрутизації гідрологічного стоку по ЦММ* – евристичних алгоритмів іншого класу.

**Маршрутизація стоку по Цифровій Моделі Рельєфу Водозбору із подільшим модулюванням повної флювіальної мережі.** *Маршрутизація гідрологічного стоку по ЦММ* достатньо детально викладалася

в наших попередніх публікаціях [11, 14, 15]. Ця процедура має вважатися базовим кроком розробки моделі ГГСВ. Вона безпосередньо генерує три шари необхідних даних для такого моделювання: **1)** ЦММ із штучно заповненими зниженнями – “порожинами”, які відбивають, насамперед, помилки у початкових даних (такі об’єкти, між іншим, згадувалися і стосовно ММ ФР у попередньому підрозділі; **2)** шар даних, який відбиває напрямки поверхневого стоку для кожної чарунки ЦММ; **3)** шар даних щодо значення акумуляції стоку для кожної чарунки, яке буде дорівнювати сумарному числу інших чарунок, стік з яких потрапляє до вказаної чарунки. Таке евристичне моделювання на ЦММ відповідає роботі *1-го алгоритму* перетворення первинної сіткової функції  $[Z_H]G$  до  $r(\theta)$  – функції ФФРУ при формалізованому моделюванні ФР.



**Рис. 1.** Загальний алгоритм визначення повної флювіальної мережі із застосуванням Математичної Моделі Флювіального Рельєфу, Цифрової Моделі Місцевості і Цифрової Моделі Рельєфу Водозбору

*Маршрутизація стоку по ЦМРВ.* Поняття “цифрова модель рельєфу водозбору” нами подається в якості топографічного шару ГІС-моделі річкового басейну, що є підвалиною всієї пошарової побудови цієї модельної конструкції. На схемі роботи *загального алгоритму визначення повної флювіальної мережі* із певної точки шляху його виконання при “русі донизу” цей алгоритм виконується вже ні на ЦММ, а на ЦМРВ (рис. 1). Зроблена нами і викладена в попередніх публікаціях модифікація алгоритму маршрутизації стоку передбачала використання понять характеристик “*моментального геоморфологічного гідрографу*” (МГГ) [16]. Поняття МГГ характеризує миттєвий розподіл рельєфоутворюючих (низької забезпеченості) витрат води по поверхні водозбору у його межах. Оскільки найбільш значущий вплив гідрологічного режиму на геоморфологічні процеси у водозборі спостерігаються протягом водопілля, то головні характеристики гідрографу водопілля (величини максимальних витрат у період підняття води –  $Q_{MB}$  та тривалість цього періоду –  $T_{MB}$ ) повинні розглядатися як сукупність характеристик низки МГГ. Обидві вказані характеристики ( $Q_{MB}$ ,  $T_{MB}$ ) наживикористовувалися при маршрутизації стоку по топографічному шару ГІМВ. Зрозуміло, що у такому випадку при маршрутизації стоку беруться до уваги обидва зазначені раніше - узагальнюючий і частковий - параметри моделювання водозбору – *морфологія його поверхні і мережа рельєфу*.

*Загальний алгоритм визначення повної флювіальної мережі.* Цей алгоритм у графічному вигляді можна представити за наступною схемою (рис. 1). Три головні блоки, із котрими зв’язані всі процеси і лінії шляхів виконання (ЛШВ) роботи алгоритму, це – 1) ЦММ, 2) ММ ФР та 3) ЦМРВ. Низхідні і висхідні ЛШВ поєднують ММ ФР із ЦММ, оскільки саме “області перевірки на  $r(\theta)$  функцію ФФРУ” – це частини масиву ЦММ. Такі ж саме ЛШВ вказують на взаємний зв’язок між ММ ФР і ЦМРВ – формалізоване подання ФР має узгоджуватися із його евристичним моделюванням. ЦММ зв’язана із ЦМРВ тільки низхідною ЛШВ, оскільки модель рельєфу водозбору вже ніяким чином не може мати зворотного впливу на первинну ЦММ, а головним процесом перетворення останньої в ЦМРВ на цій лінії шляху виконання буде “ліквідація знижень-порожнин” (рис. 1). Головним процесом *низхідної ЛШВ* від ММ ФР до ЦМРВ буде виконання алгоритмів 1-6, що викладалися в цієї доповіді вище. *Висхідна лінія* від ЦМРВ до ММ ФР передає, які необхідно зробити уточнення у формалізованій опис флювіального рельєфу в залежності від поточних результатів евристичного моделювання. Процедура маршрутизації по ЦМРВ виконує свій заключний крок при досягненні граничної умови акумуляції стоку по чарунках ЦММ. Ця гранична умова записується (алгоритмічною мовою моделювання) як:

$$\text{Threshold DAF} = \text{FLOWACCUMULATION output} \\ \text{streamnet} = \text{con}(\text{flowacc} > 100, 1), \quad (5)$$

де *FLOWACCUMULATION* - стандартна функція *DAF* - функція акумуляції стоку (“drainage accumulation function” – *англ.*) при його маршрутизації по ЦМРВ. Блок *Досягнення граничного значення* подає записану алгоритмічним кодом умову трансформації на МГП (остання є складовою ЦМРВ) поверхневого гідрологічного стоку в русловий.

Коротко зупинимося на окремих блоках роботи алгоритму визначення повної флювіальної мережі та проілюструємо їх прикладами із програмного забезпечення (ПЗ) (рис. 2, 3), оригінально розробленого під керівництвом автора цієї статті і вже поданого в наших попередніх публікаціях [1, 11]. Отже, перш за все заповнюються замкнуті зниження в масиві ЦММ. Потім виключаються з розгляду великі плоскі ділянки. Якщо задане *автоматичне* визначення точок стоку, обчислення проводяться за одне звертання до відповідної програми. При *інтерактивному* виборі точок стоку (вручну) при першому звертанні визначаються такі точки, і повернення в меню дає користувачу ПЗ можливість корегувати набір точок стоку за межі масиву ЦММ і даної ЦМРВ (на точки, які користувач хоче виключити, треба клікнути – вони помічаються рожевим – світло-сірим на рис. 2), а при повторному звертанні проводиться сам розрахунок маршрутизації стоку (рис. 3).

При альтернативному інтерактивному – *автоматизованому* - визначенні точок стоку побудова ФМ проводиться в два етапи (блок *Виділити ерозійну і руслову мережу*): на першому етапі флювіальна мережа будується на базі всіх наявних точок стоку. Після цього проводиться аналіз загальної схеми стоку, на підставі якого деякі з точок стоку відкидаються, і проводиться побудова мережі на нових даних. Потім впроваджується виділення річкових басейнів (блок *Виділити великі басейни і субводозбори по ЦМРВ*), але це виконується на іншій лінії шляху виконання алгоритму. Безпосередньо виділення точок стоку проводиться наступним чином (блок *Виділити ерозійну і руслову мережу*): для *флювіального рельєфу* передбачається, що для такого рельєфу точками стоку можуть бути тільки граничні точки області; у випадку *нефлювіального рельєфу* точками стоку можуть бути як граничні точки області, так і внутрішні. Попередньо проводиться згладжування сітки висот ЦММ методом “ковзного вікна” (ширина рамки  $id = 0.02 * \min(nx, ny)$ , але не менше 2) [9].

*Внутрішній алгоритм побудови ФМ* (блок *Виділити ерозійну і руслову мережу* - рис. 1). Вже із того, що викладено має бути зрозумілим, що загальний алгоритм складається із кількох *внутрішніх* (наприклад, розглянуті алгоритми 1-6 ММ ФР). Алгоритм вказаного блоку є тільки одним з них, який займає ключове місце. Мається набір точок стоку, які у сукупності складають певний водозбірний басейн. У процесі побудови ФМ імітується повинь, тобто визначається послідовність розповсюдження “зони повені” по поверхні водозбору. Оскільки при цьому “псується” матриця висот, перед початком роботи ці дані зберігаються, а потім відновлюються колишні значення поля висот. Головним параметром алгоритму є крок “поширення зони повені” ( $dh$ )  $fp \rightarrow step\_flow$ . Розрахунок виконується крок за кроком починаючи із мінімального значення висоти.

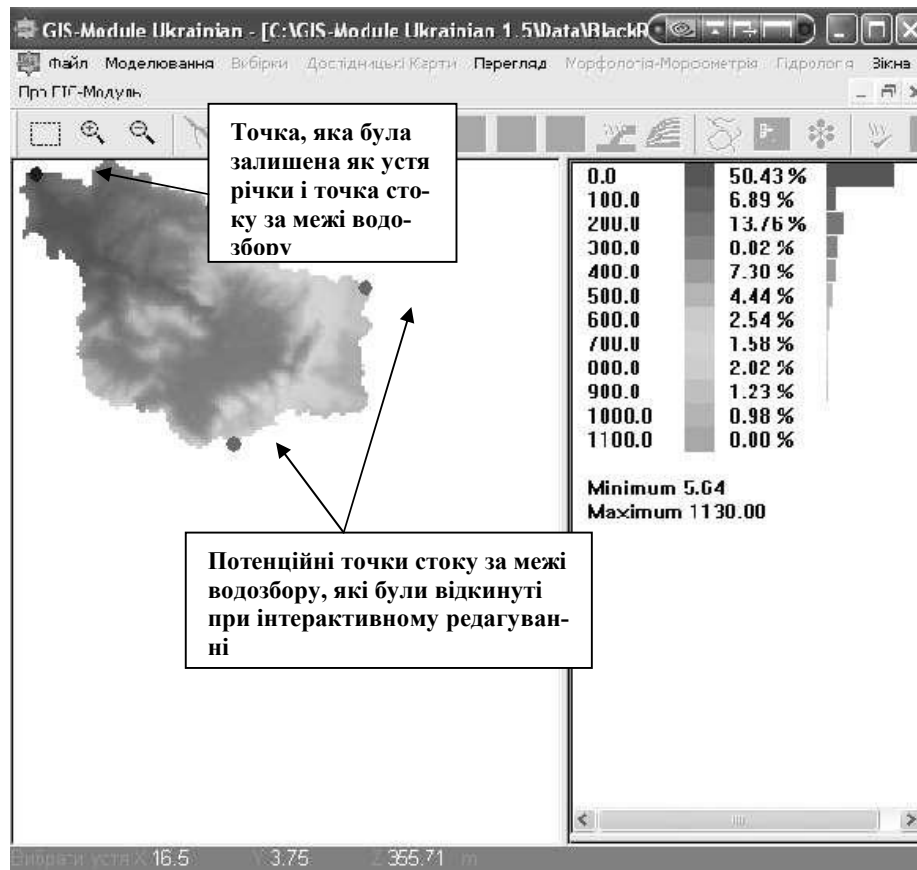


Рис. 2. Інтерактивне обрання точок стоку на масиві чарунок цифрової моделі рельєфу водозбору

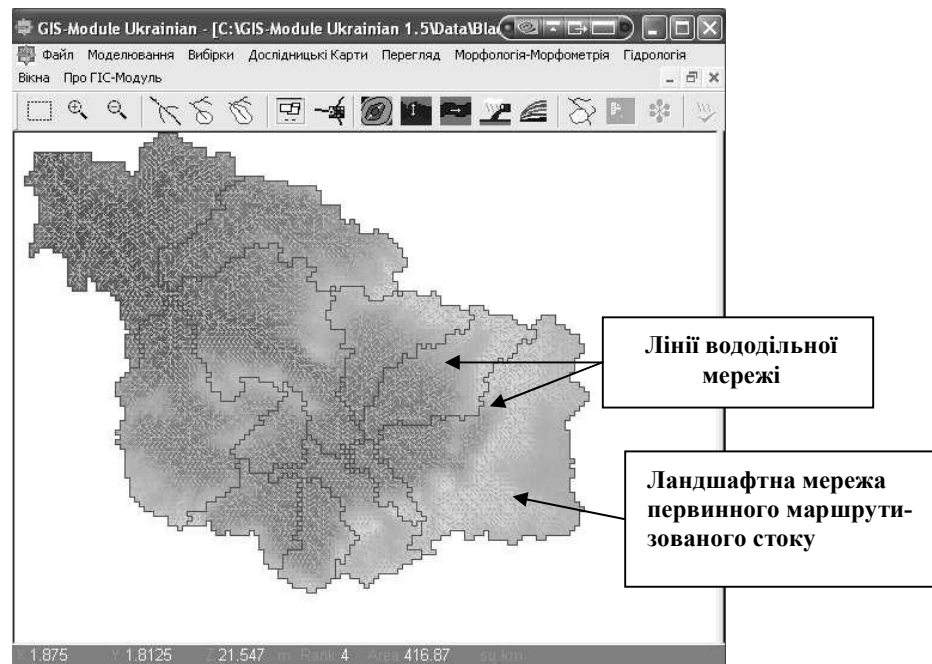


Рис. 3. Маршрутизований стік і лінії вододілів на ЦМРВ

Вузловим моментом процедури побудови мережі є операція // *Flowing the neighbours points*. Тут переглядаються всі сусідні точки, з них виділяються ті, що підлягають попаданню до “зони повені” на даному кроці, тобто приналежні області і висоти, що мають значення, менше поточного рівня ( $hh$ ). Такі точки відзначаються як ті, що стікають у дану, і записуються в робочий масив. При цьому потрібно вжити заходів щоб діагональні лінії ерозійної (флювіальної) мережі не перетиналися. Масив сусідніх точок, що сті-

кають у дану, сортується по відхиленнях висоти від поточного рівня. Перша з цих точок стає поточною точкою стоку для даного басейну, інші містяться в стек даного басейну (субводозбору). Якщо точок, що стікають у дану, немає, поточною для даного басейну стає точка з його стека і робота продовжується з цим басейном, *при порожньому стеці – перехід до наступного басейну*. Якщо після закінчення циклу по басейнах у якому-небудь зі стеків є точки, які не використані, весь цикл повторюється. Таким чином, робота внутрішнього алгоритму буде закінчена, коли ні для якого з басейнів не залишиться точок, що підлягають “затопленню” на даному кроці. По отриманій ФМ оцінюються площі водозбору для кожної точки стоку. Спочатку проводиться вибракування точок стоку з малою площею водозбору. *Якщо точки стоку задавалися інтерактивно* (рис. 2), *на цьому робота закінчується*. При автоматичному визначенні точок стоку для кожної із них проводиться обхід дерева ФМ, у процесі якого підраховується число “правильних” і “неправильних” ланок (у “правильних” ланок значення висоти зменшується в напрямку стоку, у “неправильних” - навпаки). Якщо число “неправильних” ланок у дереві даної точки стоку перевищує 1/20 числа “правильних” - така точка відкидається. Нарешті, буде отримана кінцева картина маршрутизованого стоку (рис. 3).

**Висновки і подальші перспективи моделювання.** Викладені загальний і окремі (внутрішні) алгоритми є засобами впровадження процедури маршрутизації гідрологічного стоку при геоінформаційному моделюванні річкових басейнів. Отже для послідовного відтворення флювіального рельєфу, поверхневого стоку і руслової мережі доцільно поетапно вирішувати три задачі: 1) формального опису процесу маршрутизації стоку через ММ ФР – функцію  $r(\theta)$  флювіального рельєфоутворення; 2) евристичного моделювання стоку по ЦММ; 3) маршрутизації стоку по ЦМРВ, яка відбиває характеристики геоморфологічної гетерогенності, і на такій підставі – побудови повної флювіальної (ерозійної) мережі. Потім, через змодельовані параметри мережі рельєфу можна вирішувати задачу формалізації опису неоднорідності гідрологічного режиму.

Подібний підхід може застосовуватися, наприклад, для дослідження і прогнозування несприятливих екзогенних процесів у доквіллі водозборів. Проблеми, які спричиняються цими процесами, є достатньо актуальними для України. Тут треба зазначити, що поширення зон безпосереднього затоплення під час весняних поведей та дощових паводків є, можливо, не менш значною проблемою, ніж питання про підтоплення земель через підвищення рівнів підземних чи ґрунтових вод на окремих територіях, яке не так давно розглядалося та обговорювалося на державному рівні [17]. Катастрофічні наслідки від поведей та паводків, які мали місце у багатьох країнах Європи навесні та улітку 2002 року, привернули до цього несприятливого природного явища увагу всієї світової спільноти. Реалізація формалізованого подання доквілля водозборів, може суттєво допомогти у розумінні минулого, сучасного і майбутнього багаточисельних річкових басейнів на території України і гідролого-геоморфологічних відгуків цих басейнів на сучасні зміни у природно-антропогенному доквіллі.

#### Джерела та література

1. Костріков С.В. Атрибутивні дані для ГІС і визначення морфолого-морфометричних атрибутів флювіального рельєфу // Геоінформатика. – 2004. - № 4. – С. 70-77.
2. Allen, J. R. L. Reaction, relaxation and lag in natural sedimentary systems: general principles, examples and lessons // Earth Science Reviews. – 1974. – Vol. 10. – P. 263- 342.
3. Лихачева Э.А., Бронгулеев В.В., Козлова А.Е. Влияние изменений климата на геоморфологические процессы // Региональные аспекты развития России в условиях глобальных изменений природной среды и климата. – М.: Изд-во ИЦ ЭНАС, 2001. – С. 12-35.
4. Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. - М.: Изд-во МГУ. - 1972. - 251 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. Воробьев Б.Н. Формализованный язык структурного анализа рельефа // География и природные ресурсы. - 1985. - № 3. - С. 136-141.
7. Vorobiov B.N., Kostrikov S.V. Topographic GIS within the framework of modeling system "Relief-Processor": feasible environmental applications // Proceedings of the Fourth European Conference on GIS. - Utrecht/Amsterdam, 1993. - Vol. IIА.- Chapter of Late Papers. - P. 1742-1753.
8. Костріков С.В., Воробйов Б.Н. Моделювання гідролого-геоморфологічних характеристик водозбору // Український географічний журнал. – 2002. - № 2 - С. 43-48.
9. Scheidegger A.E. Theoretical Geomorphology. - 2nd edition. – Springer, New York. - 1970. – 438 p.
10. Chase C. G. Fluvial land sculpting and the fractal dimension of topography // Fractals in geomorphology. - In: Geomorphology. Snow R. S., Mayer L. (eds). - 1992. – Vol. 5. – P. 39-57.
11. Костріков С.В., Воробйов Б.Н. Практична геоінформатика для менеджменту охорони доквілля. Навчально-методичний посібник. – Харків: Вид-во ХНУ, 2003. – 102 с.
12. Костріков С.В., Антипова О.І., Петренко А.Л., Кострікова Т.О., Саксонов А.В. Щодо методики розробки модуля гідролого-геоморфологічної ГІС на підставі оптимізації взаємодії блоків “Дані + Моделі” і визначення атрибутів моделювання // Вісник ХНУ. Геологія – Географія – Екологія. – 2002. - № 563. – С.157-161.

13. Воробьев Б.Н. Геоинформационная система «Рельеф»: принципы организации и алгоритмы структурного анализа для оптимизации природопользования: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Харьков, 1987. – 19 с.
14. Костріков С.В. Про можливість моделювання гідрологічного режиму водозбору через характеристики мережі рельєфу // Вестн. ХНУ. - 2001. - № 521: Геологія, Географія, Екологія. - С. 175-179.
15. Костріков С.В. Цифрові моделі місцевості і три напрямки в геоінформаційному моделюванні водозборів // Людина і довкілля. 2002. Вип. 3. – Харків: Видавництво ХНУ, 2002. – С.49-54.
16. Костріков С. Водозбірний басейн як об'єкт фрактального моделювання // Вісник Харківського університету. – 1999. - № 455. – Геологія, Географія, Екологія. – С. 109-113.
17. Барщевський М.С., Гриневецький В.Т., Сорокіна Л.Ю. Підтоплення земель в Україні: проблема та шляхи подолання // Український географічний журнал. – 2003. - № 2. – С. 3-8.

**Масаев М. В.**

## **КОМПАРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕСТИ ВРЕДА ЗДОРОВЬЮ В РОССИЙСКОМ И УКРАИНСКОМ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ**

Сразу же следует отметить, что принятый 5 апреля 2001 г. седьмой сессией Верховной Рады Украины новый Уголовный кодекс Украины не содержит новеллы вступившего в силу 1 января 1997 г. нового Уголовного кодекса Российской Федерации о замене термина «телесное повреждение» на «вред здоровью». Последний термин не является, правда, совершенно новым. Он использовался ранее и в судебно-медицинских нормативных документах, и в юридической и судебно-медицинской литературе, но лишь в узком смысле и только для разъяснения содержания телесного повреждения. В новом УК РФ термин «вред здоровью» применён впервые, причём в очень широком смысле, и включает любые противоправные воздействия на организм человека, так или иначе ухудшающие временно или постоянно здоровье.

Раздел II нового УК Украины «Преступления против жизни и здоровья личности», правда, содержит кроме статей связанных с убийством (ст. 115–119) с доведением до самоубийства (ст. 120), с телесными повреждениями (ст. 121–125, 128) содержит статьи, связанные с побоями и истязанием (ст. 126), пытками (ст. 127), угрозой убийством (ст. 129), заражением вирусом иммунодефицита человека либо другой неизлечимой инфекционной болезнью (ст. 130), заражением венерической болезнью (ст. 133) и иные статьи, связанные с преступлениями против жизни и здоровья личности, но термина «вред здоровью» в объёме, способном заменить термин «телесные повреждения» не вводит, оставляя термин «телесные повреждения» в его привычном значении и объёме [1, с. 60–73].

«Правила судебно-медицинской экспертизы тяжести вреда здоровью», утверждённые приказом Министра здравоохранения Российской Федерации № 407 от 10 декабря 1996 г. содержат определение вреда здоровью, под которым понимают либо телесное повреждение, т. е. нарушение анатомической целостности органов и тканей или их физиологических функций, либо заболевания или патологические состояния, возникающие в результате воздействия различных факторов внешней среды – механических, физических, химических, биологических, психических. Из этого следует, что понятие телесных повреждений сохраняется. Однако теперь ему придаётся более узкий смысл [2, с. 310]. Из этого определения вытекает, что понятие телесного повреждения сохраняется, хотя теперь ему придаётся более узкий смысл. Различные заболевания и патологические состояния, которые ранее также охватывались понятием телесного повреждения, теперь получили самостоятельное значение как одно из составляющих понятия «вред здоровью». Разумеется, в правовом смысле речь может идти о вреде здоровью лишь при противоправном (умышленном или неосторожном) его причинении. Таким образом, объём понятия «телесное повреждение» сужается до его буквального значения, а несвойственные этому значению явления переходят в объём термина «вред здоровью» как понятие более широкому, чем «телесное повреждение». Это существенно уточняет терминологию и делает её более чёткой. К сожалению, эта новелла отражения в новом УК Украины не нашла.

Понятие вреда здоровью охватывает широкий спектр последствий различных воздействий на организм, включающих не только механические повреждения, но и различные заболевания или патологические состояния. К ним, в частности, необходимо отнести заболевания, обусловленные действием ионизирующего излучения, постасфиксические состояния, тяжесть которых определяет оценку тяжести механической асфиксии, поражения технического электричеством и др. Как вред здоровью оценивают и некоторые инфекционные болезни, например, сальмонеллез, если инфицирование произошло в учреждении общественного питания в результате нарушения его работниками санитарно-эпидемиологических правил. Вредом здоровью являются и состояние алиментарного истощения, если потерпевший лишен пищи по вине другого человека, пневмония, возникшая у человека, насильно удерживавшегося в условиях охлаждения и т. д. Старая терминология УК Украины не даёт возможности правильной правовой оценки вышеприведенных юридических фактов, ограничивая правовую оценку причинения вреда здоровью заражением вирусом иммунодефицита человека либо другой неизлечимой инфекционной болезнью (ст. 130 УК Украины) [1, с. 65–66] и заражением венерической болезнью (ст. 133 УК Украины) [1, с. 67–68].

В соответствии с новыми правилами, утвержденными в Российской Федерации, тяжесть наиболее лёгких повреждений (небольших ссадин, кровоподтёков, небольших поверхностных ран) не определяется. Эти повреждения причиняют вред здоровью, однако этот вред с точки зрения законодателя незначителен, в связи с чем такие повреждения, не влекущие за собой кратковременного расстройства здоровья или незначительной стойкой утраты общей трудоспособности, расцениваются как следствие нанесения побоев (ст. 116 УК РФ) [5, с. 816], о которых в таких случаях идёт речь. «Правила судебно-медицинского опреде-