

УДК: 504.54 (712.3/7)+551.4

А. А. КЛЄЩ, Н. В. МАКСИМЕНКО, канд. геогр. н., доц., **Л. В. БАСКАКОВА**

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

61022 Харків, майдан Свободи, 6

nadezdav08@mail.ru

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІСЬКИХ ЛАНДШАФТІВ

На основі аналізу європейського і вітчизняного досвіду ландшафтного планування міських територій виявлено низьку увагу до оцінки геоморфометричних характеристик. За допомогою ГІС - технологій створено серію карт інвентаризаційного етапу ландшафтного планування для річкового басейну р. Лопань в межах міста Харків. Визначено просторові відмінності крутизни, експозиції та кривизни схилів рельєфу міських ландшафтів, що знайшли відображення на представлених повнокольорових картографічних творах.

Ключові слова: ландшафтне планування, геоморфометричні характеристики, моделювання, місто Харків, рельєф, схил, крутизна, експозиція, кривизна

Клещ А. А., Максименко Н. В., Баскакова Л. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРОДСКОГО ЛАНДШАФТА

На основе анализа европейского и отечественного опыта ландшафтного планирования городских территорий выявлено низкое внимание к оценке геоморфометрических характеристик. С помощью ГИС - технологий создана серия карт инвентаризационного этапа ландшафтного планирования для речного бассейна р. Лопань в пределах города Харькова. Определены пространственные различия крутизны, экспозиции и кривизны склонов рельефа городских ландшафтов, нашедшие отражение в представленных полноцветных картографических произведениях.

Ключевые слова: ландшафтное планирование, геоморфометрические характеристики, моделирование, город Харьков, рельеф, склон, крутизна, экспозиция, кривизна

Klyesch A. A., Maksymenko N. V., Baskakova L. V. DESIGN GEOMORFOMETRYC CHARACTERISTICS URBAN LANDSCAPE

Based on the analysis of European and domestic experience of landscape planning of urban areas revealed a low attention to assessing geomorfometric characteristics. With the help of GIS - technologies created a series of maps of the inventory phase of landscape planning for the river basin r. Lopan within the city of Kharkov. The spatial differences in slope, exposure and slope curvature topography of urban landscapes, as reflected in the full-color map works presented in this paper.

Keywords: landscape planning, geomorfometricsheskie characteristics, modeling, Kharkiv city, topography, slope steepness, exposure, curvature

Вступ

Розробка концептуальних основ ландшафтного планування міського середовища як захист життєвого та природного середовища від шкідливого впливу техногенних і соціально-побутових факторів, небезпечних природних явищ визначено пріоритетним завданням сучасного містобудування та закріплене статтею 2 Закону України «Про основи містобудування». Ландшафтне планування будь-якої території не можливе без створення картографічних творів, що певним чином відображають її рельєф. У той же час, результати робіт з ландшафтного планування, що здійснені в Україні, Росії

та деяких Європейських країнах [1-4] демонструють не досить пильну увагу саме до характеристик рельєфу під час формування комплексу карт інвентаризаційного етапу. Таке становище може бути зумовлене тією обставиною, що дослідники у ландшафтному плануванні вбачають, головним чином, процес екологізації територіального планування.

Природоохоронна спрямованість ландшафтного планування все ж більше притаманна Європейським країнам [1-3], на відміну від яких, українські вчені, намагаючись «відійти» від екологічності, у ландшафтному плануванні вбачають «складний процес еколого-економічного оцінювання

функцій різних територіальних виділів та подальше узгодження пріоритетів і ризиків їхньої реалізації з усіма групами користувачів» [4, с.10].

Такі «перекося» у той чи інший бік, на наш погляд, звужують сферу використання ландшафтного планування в цілому і для території міст, окремо. Недостатнє висвітлення особливостей рельєфу в матеріалах інвентаризаційного і оціночного етапів ландшафтного планування обмежують можливості прогнозного етапу і не дозволяють дати адекватну оцінку планам розбудови міста, перерозподілу антропогенного забруднення по його території, або необхідності виділення додаткових зон релаксації ландшафту.

Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій спонукають до створення теоретичної бази проведення багатофакторного аналізу полігеокомпонентних систем та розробку тривимірних моделей природних та природно-антропогенних ландшафтів, зокрема і урболандшафту.

Для повного відображення реальної ситуації в ландшафті, згідно стандартного алгоритму ландшафтного планування [3], підчас реалізації інвентаризаційного етапу

створюється великий комплекс картографічних творів, що характеризують практично всі природні компоненти. Використання ГІС - моделювання у ландшафтному плануванні для прогнозування майбутніх змін в залежності від обраної моделі екологічного менеджменту дозволяє значно зменшити роль суб'єктивного фактору та підвищити ефективність управлінських рішень.

Таким чином, інвентаризаційні карти, та отримані на їх основі моделі що відображують особливості рельєфу міських ландшафтів, створені за допомогою ГІС-технологій дозволяють розробити найоптимальніші управлінські рішення в процесі екологічного менеджменту територій.

Мета дослідження – інвентаризація характеристик рельєфу басейну р. Лопань у межах м. Харків шляхом розробки моделей геоморфометричних характеристик міських ландшафтів.

Дослідження охоплюють широке коло теоретичних питань, що стосуються складових всебічної характеристики рельєфу території та практичну розробку картографічних моделей геоморфометричних характеристик міських ландшафтів.

Методи дослідження

Процес моделювання тривимірної картографічної моделі рельєфу території дослідження можна описати наступним алгоритмом:

- 1.Прив'язка растрового зображення в ГІС;
- 2.Векторизація горизонталей за картографічним матеріалом при створенні ЦМР;
- 3.Створення TIN-моделі рельєфу на основі триангуляції Делоне;
- 4.Візуалізація цифрової моделі рельєфу (далі ЦМР).

Результати дослідження

Відправною точкою геоморфометричного аналізу міських ландшафтів і створення картографічних моделей різних характеристик рельєфу є розробка тривимірної моделі рельєфу заданої території. Побудована тривимірна модель рельєфу території дослідження отримана на основі оцифрування топографічної основи з висотою перетину рельєфу в 1 м. Загальне уявлення про тривимірність створеної TIN-моделі

Геоморфометричний аналіз ЦМР базується на положенні про математичну формалізацію земної поверхні. Згідно з цим положенням, з математичної точки зору ЦМР є моделлю скалярного геополя, яке характеризує просторовий розподіл показника висоти і в загальному випадку описується виразом виду:

$$z = f(x, y) \quad (1)$$

де z – значення висоти в точці з географічними координатами (x, y) .

рельєфу можна отримати з рисунку 1, на якому в декілька раз збільшено співвідношення горизонтального і вертикального масштабів (Z -factor).

Отримана тривимірна картографічна модель рельєфу території дослідження (рис. 2) слугує для візуалізації уявлень про форму земної поверхні та є вихідним джерелом для розрахунку основних геоморфометричних параметрів.

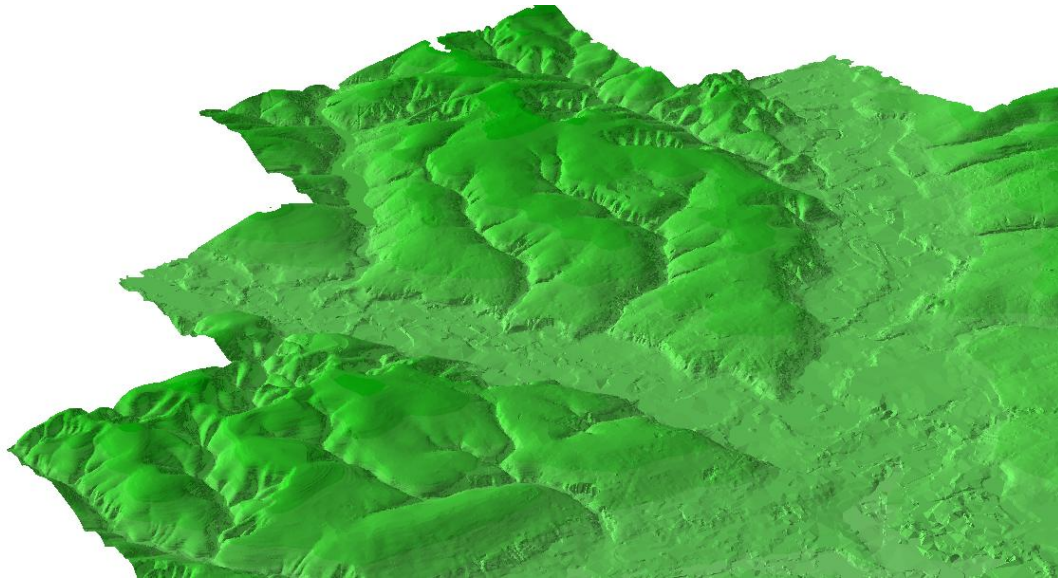


Рис. 1 – Тривимірна модель рельєфу території дослідження на основі шару TIN без накладення інших шарів (фрагмент)

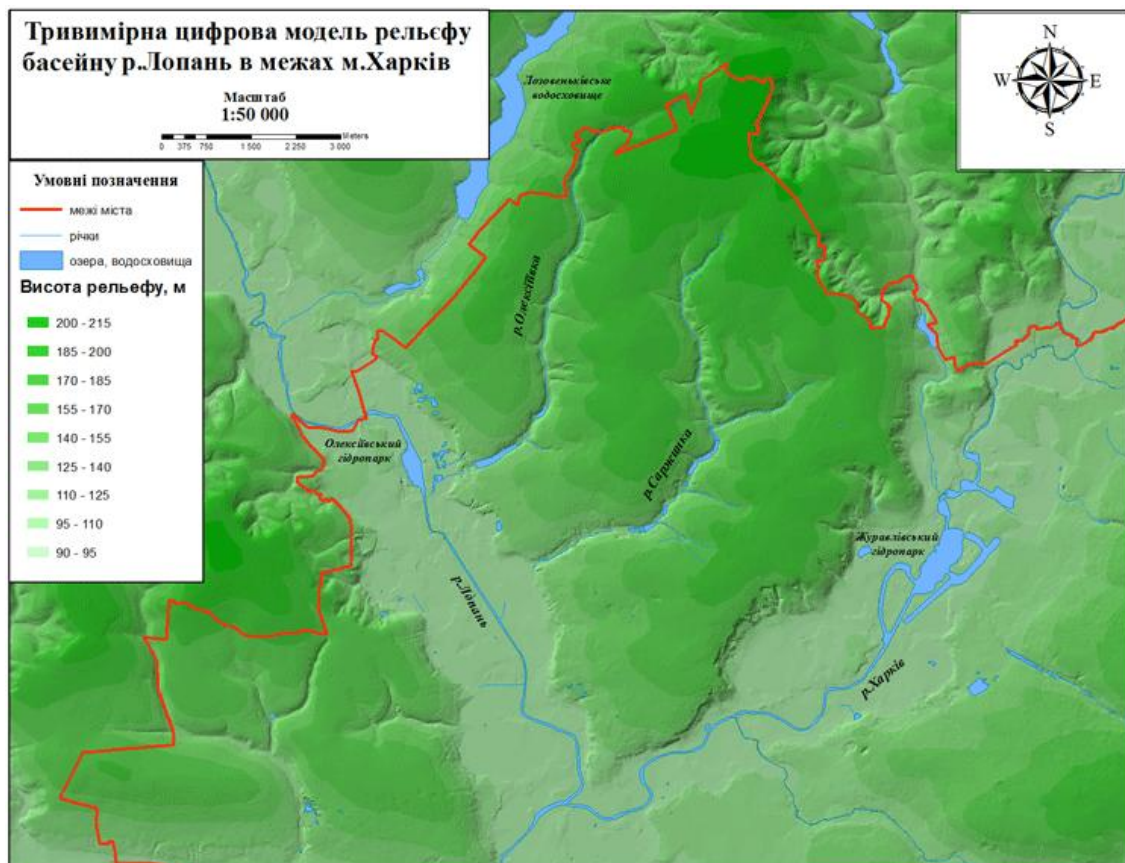


Рис. 2 – Тривимірна цифрова модель рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків (масштаб змінено)

Моделювання *крутизни* схилів рельєфу басейну р. Лопань в межах міста Харків розпочинається із визначення ролі кожного параметру в ландшафті. Ухил поверхні – це

фундаментальний геоморфометричний параметр, який закономірно пов'язаний з наступними процесами і характеристиками ландшафту:

- поверхневий стік і дренавання – чим більш крутий схил, тим інтенсивніше поверхневий стік та менша інфільтрація вологи в ґрунтову товщу. Таким чином, ухил має принципове значення для режиму зволоження ґрунтів, особливо – верхніх шарів;

- ерозія – інтенсивність ерозії експоненційно зростає із збільшенням ухилу. Це пояснюється тим, що зі збільшенням градієнту кінетична енергія опадів залишається постійною, але транспорт прискорюється в напрямку підніжжя. В результаті, кінетична енергія стоку перевищує кінетичну енергію опадів, коли схил переходить позначку 8,5°, що і сприяє прояву ерозійних процесів;

- потужність ґрунтового профілю на схилі закономірно змінюється відповідно до ухилу та відносної висоти. Як правило, ґрунтова товща є меншою на підвищених похилих ділянках внаслідок ерозійних процесів та гравітаційного переміщення матеріалу, і поступово збільшується в напрямку знижених ділянок з невеликим ухилом;

- кількість сонячної енергії також залежить від ухилу, оскільки він визначає кут падіння сонячних променів на земну повер-

хню. Збільшення ухилу поверхні в напрямку надходження сонячних променів збільшує кут їх падіння, а значить – кількість енергії, яку отримує поверхня. Це визначає мікрокліматичні особливості ділянки, зокрема температуру, евапотранспірацію і вологість верхніх шарів ґрунту;

- особливості рослинного покриву сукупно відображають всі перераховані вище характеристики, оскільки вони прямо чи опосередковано впливають на такі едафічні фактори як водний і температурний режим ґрунту, механічний склад кореневмісного шару, вміст поживних елементів тощо [5].

Простота розрахунку та інформативність роблять ухил поверхні найбільш вживаним показником в моделюванні процесів перерозподілу поверхневого і внутрішньогрунтового стоку, ерозії, визначенні едафічних умов, індикаційному картографуванні тощо. Ухил поверхні – кут нахилу в точці перетину між горизонтальною площиною і площиною дотичної до земної поверхні; фіксує інтенсивність перепаду висот (градієнт) між двома заданими точками (рис. 3).

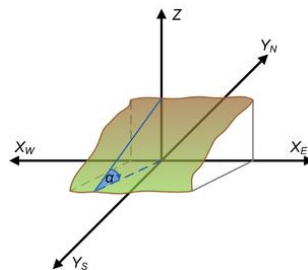


Рис. 3 – Визначення ухилу поверхні [5]

Якщо земна поверхня представлена функцією формули (1), то ухил розраховується з урахуванням змін значень z в двох напрямках як:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \right) \quad (2)$$

де $\frac{\partial z}{\partial x}$ і $\frac{\partial z}{\partial y}$ – похідні першого порядку, що представляють зміну значень абсолютної висоти z із заходу на схід (x) і з півночі на південь (y).

Як правило, значення показника $\frac{\partial z}{\partial xy}$

вимірюються в градусах (також це можуть бути відсотки або радіани) і коливаються в діапазоні від 0° до 90°.

Цифрову картографічну модель «Крутизна схилів рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків», зображену на рисунку 4, розраховано та побудовано засобами ГІС на основі створеної TIN – моделі рельєфу дослідної території.

Для градації ухилу поверхні використано класифікацію ухилу для рівнинних територій за [6], що детально представлена у таблиці 1.

Моделювання експозиції схилів рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків має наступні вихідні положення

Таблиця 1

Класифікація ухилу для рівнинних територій [6]

Ухил	Назва	Ухил	Назва
Менше 1°	пласкі (субгоризонтальні) рівнини	10-15°	сильноспадисті схили
1-3°	слабкопохилі рівнини (дуже пологі схили)	15-20°	стрімкі схили
3-5°	пологі схили (похилі рівнини)	20-40°	дуже стрімкі схили
5-7°	слабкоспадисті схили	більше 40°	урвисті схили
7-10°	спадисті схили		

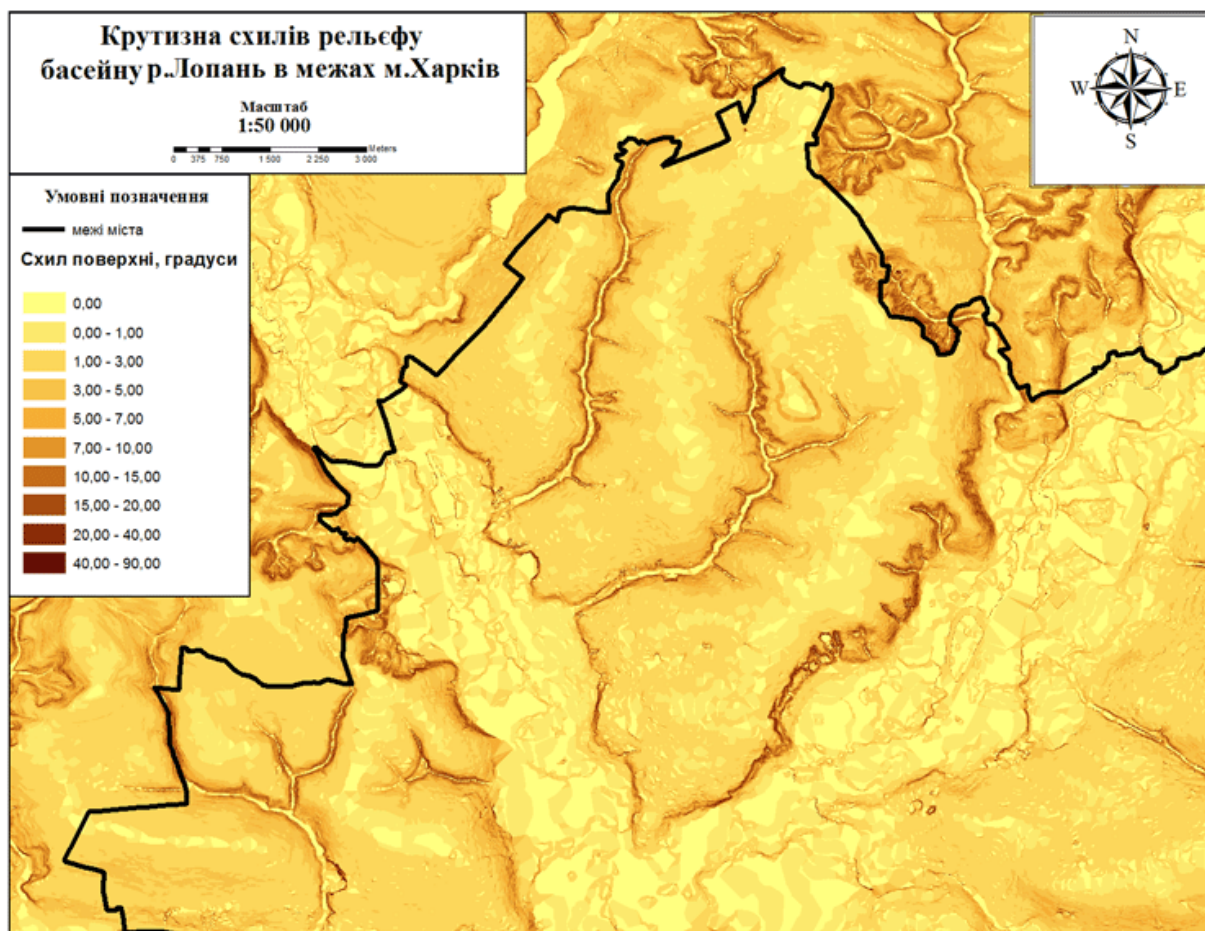


Рис. 4 – Крутизна схилів рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків (масштаб змінено)

Експозицію схилів рельєфу можна функціонально інтерпретувати в декількох напрямках, оскільки вона характеризує:

- напрямок ліній стоку, тобто коли вода (або інший здатний до переміщення матеріал) рухається під дією сили тяжіння вниз по схилу, він робить це в напрямку, що визначається експозицією. Цю залежність покладено в основу гідрологічних алгоритмів визначення спрямованості потоку.

- орієнтацію ділянки по відношенню до потоку сонячних променів, а відтак, і кількість радіації що отримується землею поверхнею – інсоляцію. Завдяки цьому експозиція має істотний вплив на локальний клімат (мікроклімат) ділянки. Кількість сонячної радіації безпосередньо визначає інтенсивність розвитку рослин та їх біологічну продуктивність. Такі закономірності подекуди обумовлюють доволі істотні азональні та локальні відмінності в ґрунтовому

та рослинному покриві, сезонному перебігу функціональних процесів [5, 7].

Експозиція поверхні – кут за годинниковою стрілкою між певним напрямом

(як правило, на північ) і проекцією ухилу на горизонтальну площину; фіксує напрямом (азимут) максимального ухилу (градієнта) земної поверхні (рис.5).

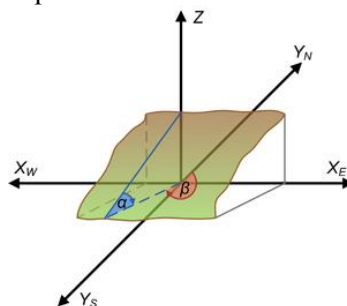


Рис. 5 – Визначення експозиції поверхні [7]

Для земної поверхні, представленої функцією, що відображена у формулі (2.25), експозиція розраховується як кут між двома похідними за формулою:

$$\beta = -\tan^{-1} \left(\frac{\partial z / \partial x}{\partial z / \partial y} \right) \quad (3)$$

де $\frac{\partial z}{\partial x}$ та $\frac{\partial z}{\partial y}$ – похідні першого порядку, що відображають зміну значень абсолютної висоти z із заходу на схід (x) і з півночі на південь (y).

Зазвичай, розраховані значення експозиції схилів відображуються згідно типології інсоляційних місць розташування. При побудові моделі використано типологію інсоляційних місць розташування за сторонами горизонту (румбами), що відображена у таблиці 2.

Для упорядкування місць розташування використано інсоляційний ряд Уїттекера, що визначає зміну параметрів тепло (волого) забезпеченості у порядку, представленому у таблиці 3

Таблиця 2

Типологія інсоляційних місць розташування

Північна	N	0-22,5°; 337,5-360°	Південна	S	157,5-202,5°
північно-східна	NE	22,5-67,5°	південно-західна	SW	202,5-247,5°
Східна	E	67,5-112,5°	Західна	W	247,5-292,5°
південно-східна	SE	112,5-157,5°	північно-західна	NW	292,5-337,5°

Таблиця 3

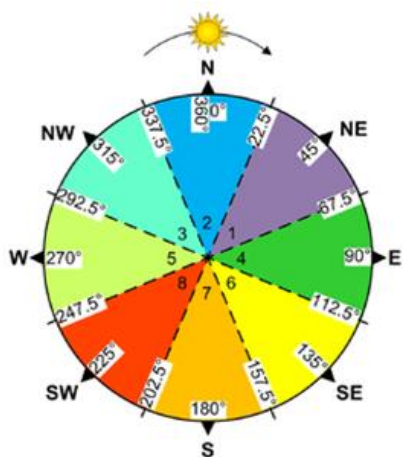
Порядок зміни параметрів тепло-(волого-)забезпеченості в інсоляційному ряді Уїттекера [8]

	Холодно => Тепло; Волого => Сухо
Ряд Уїттекера	NE → N → NW → E → W → SE → S → SW

Для графічного відображення типів інсоляційних місць розташування (експозицій схилів) дослідної ділянки використано кольорове кодування, зображене на рис. 6.

Цифрова картографічна модель «Експозиція схилів рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків», зображена на рис.7. Розрахунок та побудова моделі відбувалась засобами ГІС на основі створеної TIN-моделі рельєфу дослідної території.

Моделювання кривизни схилів рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків дозволяє оцінити зовнішній вигляд схилу. Параметр кривизни схилів рельєфу є геоморфометричним показником, що описує форму поверхні. Загалом, кривизну в деякій точці поверхні можна описати як кривизну лінії, утворену перетином земної поверхні і площини певної орієнтації, яка проходить через задану точку. Найбільш часто в гео-



1-8 – типи місць розташування (збільшення порядкового номеру вказує на збільшення посушливості місцеположення) [8]

Рис. 6 – Типологія інсоляційних місць розташування (ряд Уїттекера)

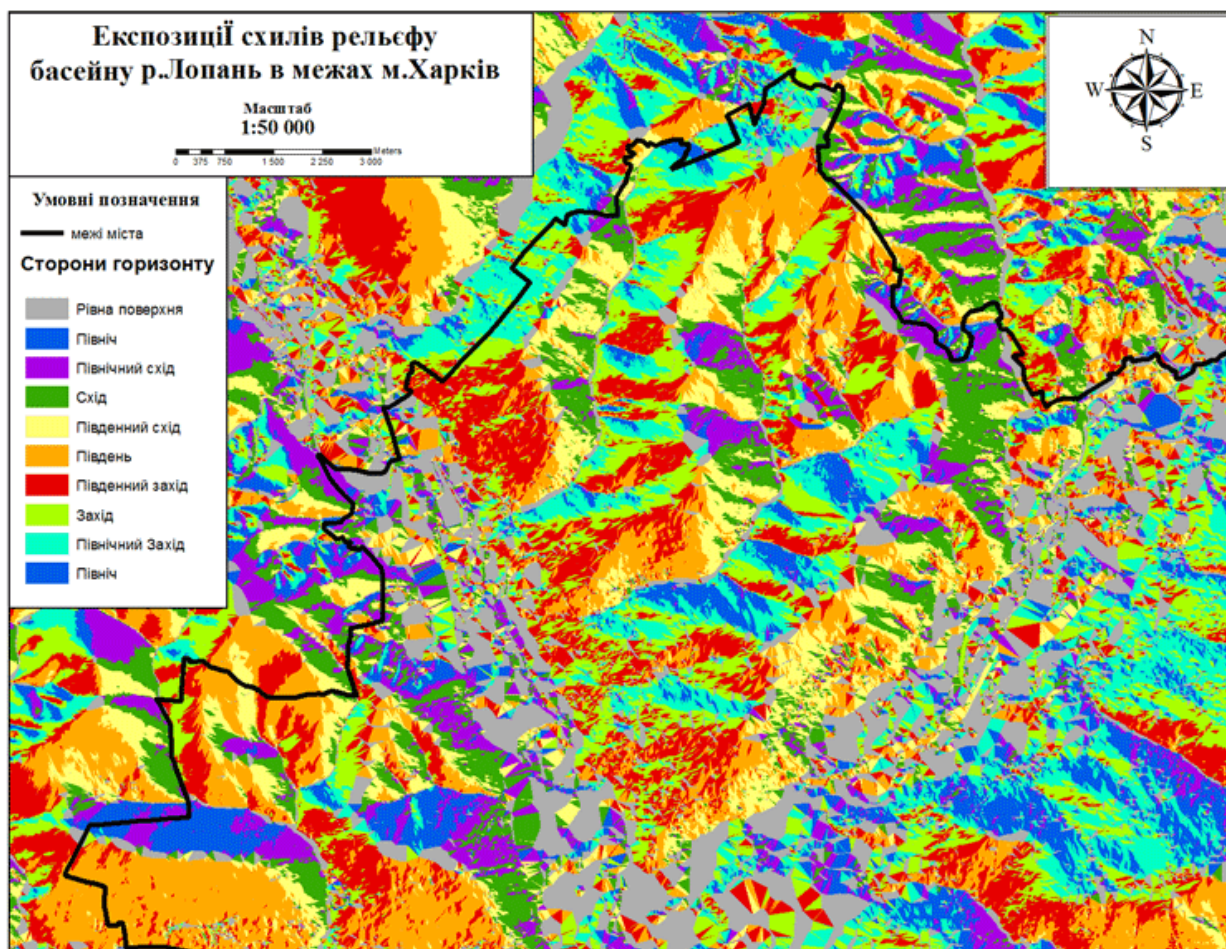


Рис. 7 – Експозиція схилів рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків (масштаб змінено)

морфометричному аналізу використовуються горизонтальна (планова), вертикальна (профільна) і (загальна) кривизна [5, 7].

Горизонтальна кривизна описує так званий перший механізм акумуляції, який залежить від здатності потоку згортатися по мірі руху вздовж земної поверхні (рис. 8).

Профільна кривизна може бути використана для характеристики швидкості сто-

ку і процесів транспорту седиментів, тобто так званого другого механізму акумуляції (рис. 9).

Опуклі ділянки характеризуються позитивними значеннями, а увігнуті – негативними, нульові значення будуть відповідати плоским в профілі поверхням.

Загальна кривизна є практично універсальним параметром, бо вона в рівній

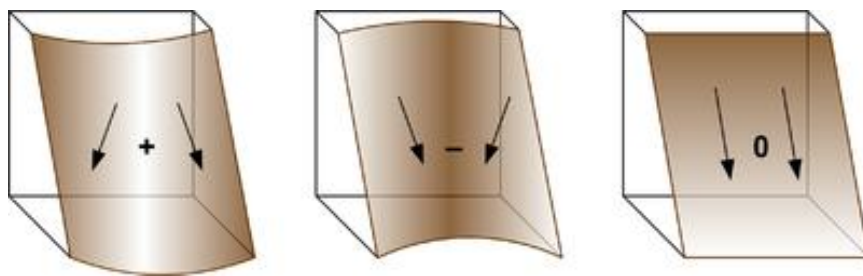


Рис. 8 – Горизонтальна кривизна перпендикулярна напрямку схилу і впливає на конвергентність / дивергентність поверхневого стоку [9]

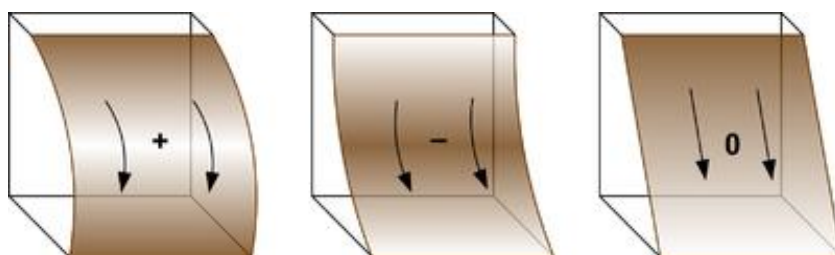


Рис. 9 – Профільна кривизна паралельна напрямку максимального схилу і характеризує кривизну лінію потоку в вертикальній площині [9]

мірі характеризує обидва механізми акумуляції. Ухил поверхні характеризує відносну інтенсивність зносу матеріалу, а експозиція – його напрям. Таким чином, вертикальна кривизна визначає закономірності ерозії та акумуляції, а горизонтальна – просторову неоднорідність стоку.

Одночасний їх облік допомагає краще зрозуміти закономірності перерозподілу

матеріалу по поверхні в рідкому або твердому стані. Найпростішим узагальненням цих закономірностей є класифікація форм рельєфу Трьоха Ф., 1964 [10], заснована на знаках вертикальної і горизонтальної кривизни (рис. 10).

Зони відносної акумуляції в даній класифікації відповідають одночасній дії

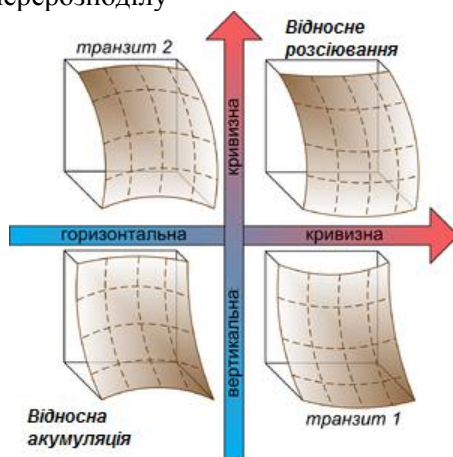


Рис. 10 – Типи форм рельєфу за класифікацією Трьоха Ф., 1964 [11]

двох механізмів акумуляції, а зони відносного розсіювання – одночасній дії цих механізмів в протилежному напрямку, тобто як розсіюючі потоки.

Для узагальнення інформації про кривизну поверхні в різних напрямках використовується синтезуючий показник – загальна кривизна. Загальна кривизна є сукупною мірою кривизни земної поверхні, яка іден-

тифікує її опуклі ділянки позитивними значеннями, а увігнуті – негативними незалежно від напрямку.

Стисло розглянемо алгоритм, реалізований при моделюванні загальної кривизни рельєфу дослідної території.

З математичної точки зору ЦМР є моделлю скалярного геополя, яке характеризує просторовий розподіл показника висоти і в загальному випадку описується виразом, представленим у формулі 1. Для апроксимації земної поверхні використовується багаточлен 2-го порядку, що може мати наступний вигляд:

$$z = Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F \quad (4)$$

де x і y – географічні координати точки, висоту Z якої необхідно визначити,

$A \dots F$ – коефіцієнти рівняння апроксимуючої поверхні 2-го порядку.

Згідно з цим положенням, основною аналітичною операцією в ГІС, яка використовується для розрахунку більшості параметрів на основі растрових ЦМР, як моделей геополя висот, є аналіз оточення. Він дозволяє кількісно описати зв'язок між точкою (пікселем) і його найближчим оточенням, застосовуючи для розрахунку локальне (найчастіше, розміром 3×3 пікселя) вікно, що ковзає (рис. 11).

Вікно рухається через всю поверхню растра (в напрямку від верхнього лівого до

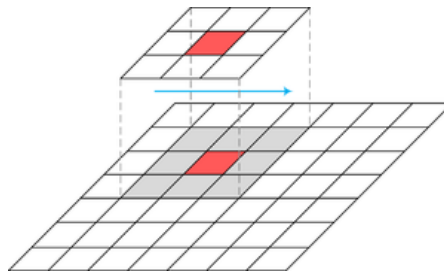


Рис. 11 – Принципова схема аналітичної обробки растрових ЦМР [12]

нижнього правого кута) і послідовно застосовує у кожній позиції одну і ту ж математичну операцію (розрахункову формулу) для комірок основного растра. При цьому поліномами апроксимуються не вся поверхня (поле), а її невелика ділянка навколо пікселя.

Таким чином, результат розрахунків визначається формулою, яка використовується для порівняння значень центральної комірки з сусідніми. У результаті виходить новий растр, аналогічний за просторовим

охопленням вихідній ЦМР, але з іншими параметрами.

У даному дослідженні розрахунок геоморфометричного параметру «загальна кривизна» проводився за допомогою алгоритму, викладеного в роботі Зевенбергена Л. і Торна С., 1987 [13], який характеризується розрахунковою ефективністю і високою достовірністю результатів [14].

Алгоритм Зевенбергена – Торна використовує апроксимацію поверхні поліномом наступного вигляду:

$$z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I \quad (5)$$

де $A \dots I$ – коефіцієнти апроксимації, розраховані за допомогою поліномів Лагранжа на основі 9 значень Z в осередках вікна 3×3 .

Геоморфометричні параметри отримуються в результаті диференціювання (5) та розв'язання відповідних рівнянь для центрального осередку квадратної матриці 3×3 (рис. 12).

За пропозицією Мура І. Д. та інш., 1991 [15] загальна кривизна на основі алгоритму Зевенбергена – Торн може бути розрахована як:

$$CURV = -2(E + D) \times 100^{optional} \quad (6)$$

де D і E розраховуються за формулами (7) і (8) відповідно.

$$D = \frac{\left[\frac{(z_4 + z_6)}{2} - z_5 \right]}{l^2} \quad (7)$$

$$E = \frac{\left[\frac{(z_2 + z_8)}{2} - z_5 \right]}{l^2} \quad (8)$$

Відношення між коефіцієнтами і дев'ятьма значеннями висот для кожної з комірок, означених у відповідності до представленого на рисунку 13. Діапазон можливих значень для загальної кривизни коливатиметься від -0,5 до +0,5 для територій з рівнинним рельєфом. Одиницями виміру кривизни земної поверхні є 1/м, але в результаті розрахунків виходять в основному

дуже маленькі значення, тому для полегшення інтерпретації рекомендується помножити їх на 100. У цьому випадку кривизна характеризує зміну певного градієнта на 100 м руху вздовж певного напрямку. При інтерпретації значень кривизни потрібно звертати увагу як на величину самого значення (модуль), так і на його знак.

Цифрова картографічна модель «Загальна кривизна рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків», зображена на рис. 14. Розрахунок та побудова даної моделі відбувались засобами ГІС на основі створеної растрової ЦМР території дослідження.

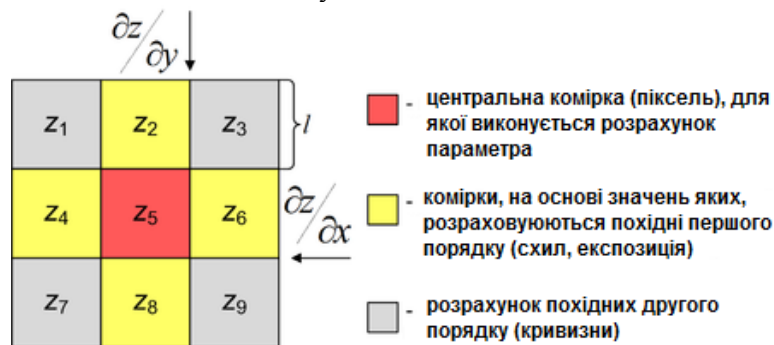


Рис. 12 – Визначення основних геоморфометричних параметрів [13]

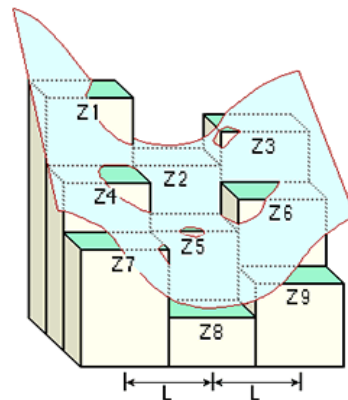


Рис. 13 – Діаграма значень кривизни [9]

Висновки

Проведений комплекс дослідження особливостей рельєфу річкового басейну р. Лопань у межах міських ландшафтів Харкова дозволив отримати ряд картографічних моделей різних геоморфометричних характеристик. Таким чином частково заповнено геоморфологічний кластер у ландшафтному плануванні цієї території. Отримані результати мають два наслідки:

по-перше, суто практичний – виконано конкретні роботи для конкретної території, що стане складовою ландшафтного планування території м. Харків;

по-друге, доведено, що для повноцінного опису рельєфу під час ландшафтного планування обов'язковою складовою має стати створення карт експозиції, крутизни і загальної кривизни рельєфу засобами ГІС-моделювання.

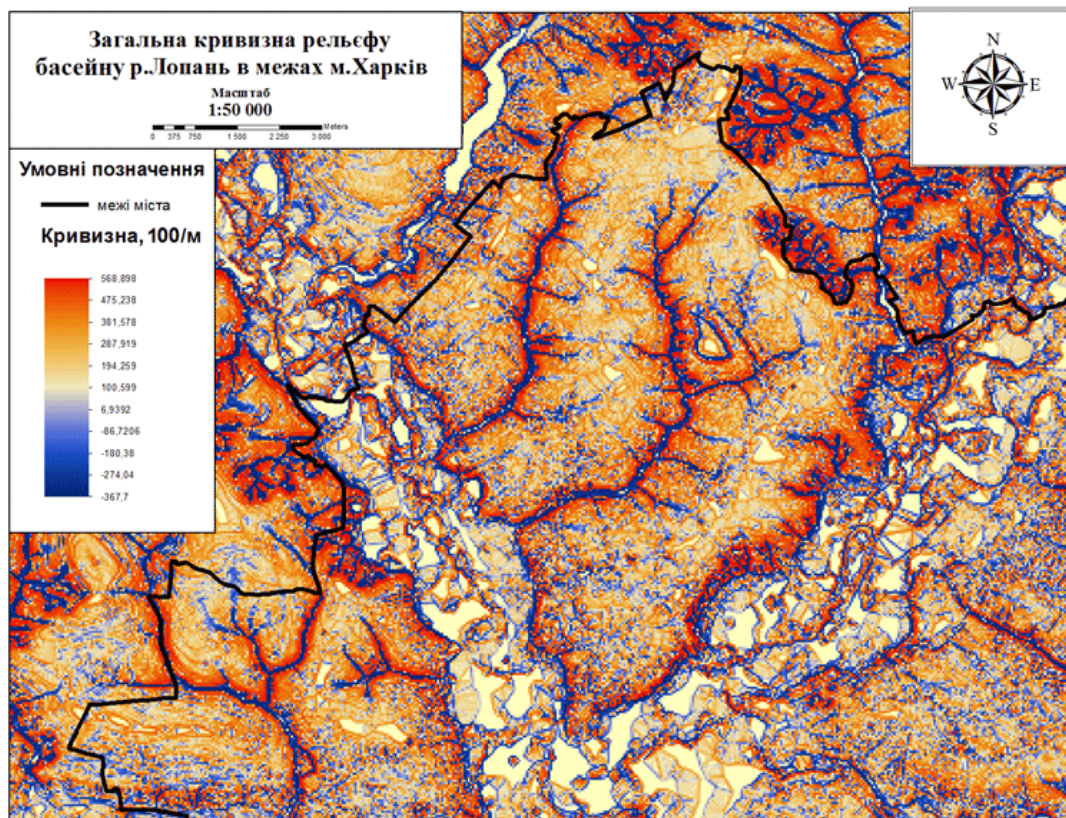


Рис. 14 – Загальна кривизна рельєфу басейну р. Лопань в межах м. Харків (масштаб змінено)

Література

1. Landscape planning for sustainable municipal development / [BfN-AS Leipzig field office] – German Federal Agency for Nature Conservation, 2002. – P.6.
2. Julius Gy. Fabos, Computerization of Landscape Planning, Landscape and Urban planning, vol 15, № 3-4, 1988. – P. 7-12.
3. Антипов А. Н. Ландшафтное планирование: принципы, методы, европейский и российский опыт / А. Н. Антипов, А. В. Дроздов, В. В. Кравченко и др. – Иркутск : Изд-во Института географии СО РАН, 2002. – С. 5 – 64.
4. Ландшафтне планування в Україні / Л. Г. Руденко, Є. О. Маруняк, О. Г. Голубцов та ін.; під ред.. Л. Г. Руденка. – К. : Реферат, 2014. – 144 с.
5. Свідзінська Д. В. Методи геоecологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник / Д. В. Свідзінська. – К.: Логос, 2014. – 402 с.
6. Жучкова В. К. Методы комплексных физико-географических исследований: Учеб. пособие для студентов вузов./ В. К. Жучкова, Э. М. Раковская. – М., 2004. - 368 с.
7. Свидзинская Д. Основные геоморфометрические параметры: теория [Електронний ресурс] / Д. Свидзинская // Географические информационные системы (ГИС). – 2013. – Режим доступу до статті : <http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html>.
8. Гродзинский М. Д. Ландшафтна екологія: Підручник / М. Д. Гродзинский. – К. : «Знання», 2014 – 550 с.
9. Buckley A. Understanding curvature rasters [Електронний ресурс] : ArcGIS Resources. / A. Buckley. – 2010. – Режим доступу до статті : <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/understanding-curvature-rasters>.
10. Шарый П. А. Геоморфометрия в науках о земле и экологии, обзор методов и приложений / П. А. Шарый.// Известия Самарского научного центра РАН. – 2006. – №8(2) – С. 458-473.
11. Shary P. A. Fundamental quantitative methods of land surface analysis / P. A. Shary, L. S. Sharaya, A. V. Mitusov. // Geoderma. – 2002. – №107(1-2) – p. 1-32
12. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. / Hengl T., Reuter H. I. (Eds.) – Elsevier: Developments in Soil Science, 2008. – vol. 33. – 772 p.
13. Zevenbergen L. W. Quantitative analysis of land surface topography / L.W. Zevenbergen, C. R. Thorne // Earth Surface Processes and Landforms. – 1987, – 12(1) – p. 47-56.
14. Jenness J. DEM Surface Tools for ArcGIS [Електронний ресурс] / J. Jenness // Flagstaff.– AZ: Jenness Enterprises, 2013. – P. 95 – Режим доступу: http://www.jennessent.com/downloads/DEM%20Surface%20Tools%20for%20ArcGIS_A4.pdf.
15. Moore I. D. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications / I. D. Moore, R. B. Grayson, A. R. Ladson // Hydrological Processes, 1991. – №5(1) – p. 3-30.

Надійшла до редколегії 10.12.2014

