

## ОСОБЛИВОСТІ ВИДІЛЕННЯ ПАПІЛЯРІВ СТОКУ ЗАСОБАМИ ГІС

В.Р.Черлінка

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна,  
кафедра землевпорядкування та кадастру, *cherlinka@gmail.com*

*Використання сучасного схилового механізму захисту земель від водної ерозії оптимізується при аналізі папілярів стоку, які дотепер виділялися лише в природі. Показано особливості їх виокремлення засобами ГІС GRASS шляхом моделювання та аналізу цифрової моделі рельєфу й перевірки коректності таких дій із застосуванням процесо-орієнтованої моделі водної ерозії SIMWE в контексті прикладних задач землеустрою.*

*Ключові слова: папіляри стоку, ерозія, модель, ЦМР, ГІС*

**Постановка проблеми.** Розвиток процесів водної ерозії на інтенсивно-використовуваних у сільськогосподарському виробництві схилів землях є актуальною проблемою, повного вирішення якої наразі повністю не досягнуто ні в Україні, ні в найбільш розвинених країнах світу. Незважаючи на всі дії, площі еродованих земель в часі зростають. Наприклад, в умовах Чернівецької області за 30 років площа еродованих сільськогосподарських угідь збільшилась в 1,7 рази, в т.ч. еродованої ріллі в 2,4 [1]. Така картина характерна для всієї території України і не тільки. Тому на мінімізацію причин, які зумовлюють розвиток ерозійних процесів, спрямовані основні зусилля фахівців цілого комплексу галузей науки: ерозієзнавства, землеробства, агрономії, землеустрою, геоморфології тощо. Оскільки прояви водної ерозії у нативних ландшафтах спостерігаються нечасто, а початок інтенсивному розвитку і розповсюдженню такого роду деградацій надає антропогенна діяльність, дослідження можливих протидій продовжується і поглиблюється.

Через те, що розробка системи протиерозійних заходів є комплексом взаємопов'язаних етапів робіт, у тому числі польових, то підготовка до останнього у камеральних умовах шляхом моделювання рельєфу та гідрологічних параметрів стоку для потреб подальшого протиерозійного проектування є актуальним і необхідним завданням. З наростанням точності вихідної інформації про рельєф та наявності даних дистанційного зондування (ДЗЗ) тривалість польового періоду, а відповідно і величина витрат, буде зменшуватись. Тому використання з цією метою геоінформаційних систем, які інтегрують в собі інструменти аналізу й моделювання є логічним та обґрунтованим кроком, а результати – відповідатимуть прикладним завданням землеустрою.

**Аналіз останніх наукових досліджень та публікацій.** Проведений патентний пошук та аналіз літературних джерел виявив, що у галузі боротьби з водною ерозією на рівні ландшафтів є ряд напрацювань [2-5], зокрема такі, які використовують нестандартні малозатратні й ефективні підходи з мінімальним впливом на структуру ландшафту [6]. При цьому широко використовується базове поняття – «папіляр стоку», під яким розуміють давні мікропониження на пологих схилах із добре вираженим профілем, вгнутим днищем, які поступово переходять у схили вододілів та балок. Середня їх ширина становить 10-30 м, при глибині 0,3–0,7 м [7]. Вони виконують стокоформуєчу і відвідну функцію в природному та антропогенному ґрунтоутворенні. При останньому ерозія розвивається в постійних каналах папілярів. Відповідно, боротьба з нею полягає в орієнтації поверхневого стоку за дискретними напрямками, що забезпечується природним механізмом його розосередження по мікрорельєфних утвореннях природної гофрованої поверхні схилу [6]. За даними [8, 9] пошук цих мікрорельєфних утворень вимагає польових обстежень, оскільки через невеликі розміри на крупномасштабних картах вони явно не відображені.

**Метою роботи** є дослідження особливостей виділення папілярів стоку засобами ГІС шляхом моделювання та аналізу цифрової моделі рельєфу (ЦМР) й перевірка коректності таких дій із застосуванням процесо-орієнтованої моделі водної ерозії SIMWE.

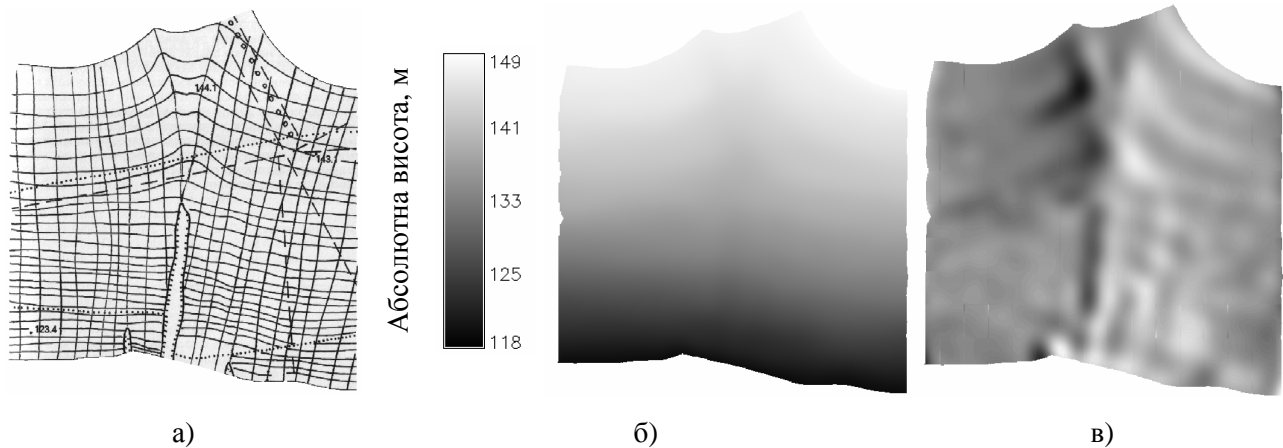
**Об'єкт досліджень** – цифрова модель рельєфу; **предмет дослідження** – розгляд можливостей виділення папілярів стоку із ЦМР, перевірка цих положень із застосуванням ерозійної мо-

делі SIMWE, аналіз можливостей використання такого підходу про розробці проектів протиерозійної організації території в землеустрої.

**Методика досліджень.** Дослідження проводилися з використанням інструментальних засобів ГІС GRASS 6.4 [10, 11] у середовищі Debian GNU Linux 7.0 [12] із дотриманням умов Загальної громадської ліцензії GNU GPL [13] щодо вживання цих програмних засобів. Для тестової ділянки в якості топооснови була обрана частина карти горизонталей з перерізом 1 м із нанесеними контурами днищ папілярів [9]. Для оцифрування вихідного топографічного матеріалу застосували векторизатор Easy Trace 7.99 [14], згладжування горизонталей провели модулем GRASS v.generalize (алгоритм chaiken, число ітерацій  $n=3$ ). Для генерації ЦМР використали регуляризовані напружені сплайни [15] реалізовані у модулі GRASS v.surf.rst [16, 17].

Для перевірки коректності виділення папілярів стоку застосували реалізацію ерозійної моделі SIMWE [18] у модулі GRASS ГІС r.sim.water. В якості вхідних параметрів використані значення висот комірок растру, вектори градієнтів потоку, обчислені як частинні похідні першого порядку від функції висоти (за координатами  $x$  та  $y$ ), норма опадів, коефіцієнт шорсткості поверхні Маннінга тощо. Растрові карти частинних похідних першого порядку вираховували за допомогою модуля r.slope.aspect і використовували для визначення напрямку і величини швидкості потоку води. Ряду додаткових параметрів надали значень за замовчуванням. Теоретичні напрями ліній стоку моделювали модулем GRASS ГІС r.flow.

**Виклад основного матеріалу.** Генерацію растрової ЦМР досліджуваної тестової ділянки (рис. 1а) здійснено засобами ГІС GRASS згідно детально описаної методики [16, 17]. Отримана поверхня (рис. 1б) слугувала основою для подальшого моделювання й аналізу. Як видно з рис. 1б, рельєф досліджуваної ділянки досить спокійний і виположений при перепаді висот 29 м (середня висота 136,3 м, коефіцієнт варіації 6,1%). У [9] не вказано масштаб зйомки, проте згідно [19] перерізу горизонталей 1 м відповідають карти масштабів 1:5000–1:2000. У центральній та нижніх частинах схилу розвинуті яри; у зв'язку із низькою якістю оригіналу карти (відсутністю частини горизонталей) [9] більшість з них у нашому дослідженні не показана.



**Рис. 1. Вихідні топографічні дані тестової ділянки:**  
а) фрагмент топокарти; б) 2d представлення ЦМР; в) відмивка рельєфу

У зв'язку з достатньо слабкою візуальною вираженістю елементів мікрорельєфу на отриманій ЦМР, здійснили процедуру відмивки рельєфу (модуль r.shaded.relief) із значним збільшенням вертикального масштабу (рис. 1в). Отримані результати показують помітну насиченість ділянки дрібними геоморфологічними елементами.

На основі ЦМР нами була побудована карта крутизни схилів (рис. 2а), яка дозволила проаналізувати просторовий розподіл мікроділянок із

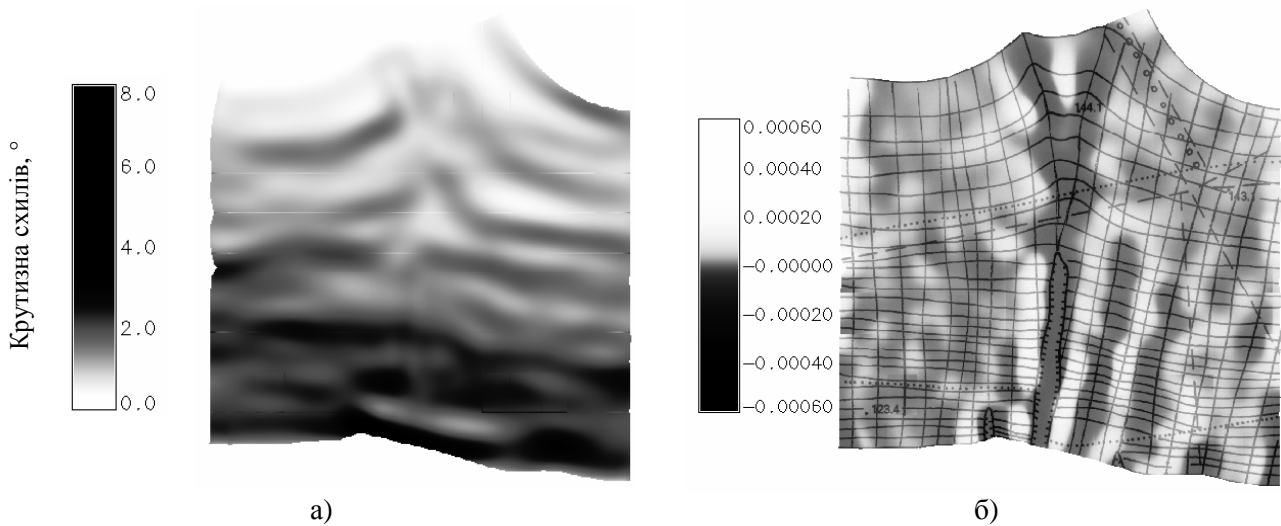
різною крутизною поверхні. В загальному, верхня частина схилу характеризується меншими ухилами, до підніжжя крутизна схилу наростає і сягає значень близько  $8^\circ$ , що за наявності поверхневого стоку стимулює збільшення швидкостей потоку до критичних значень. Виходячи з потреби глибшого дослідження мікроморфоскульптури, які пов'язані з генезою схилу як елементу ландшафту, з використанням підходів, описаних в [17] була побудована карта гравібод (рис. 2б).

Остання узагальнює всю сукупність областей дивергенції/конвергенції, тобто перерозподілу потоків речовини і енергії на схилі [17, 20].

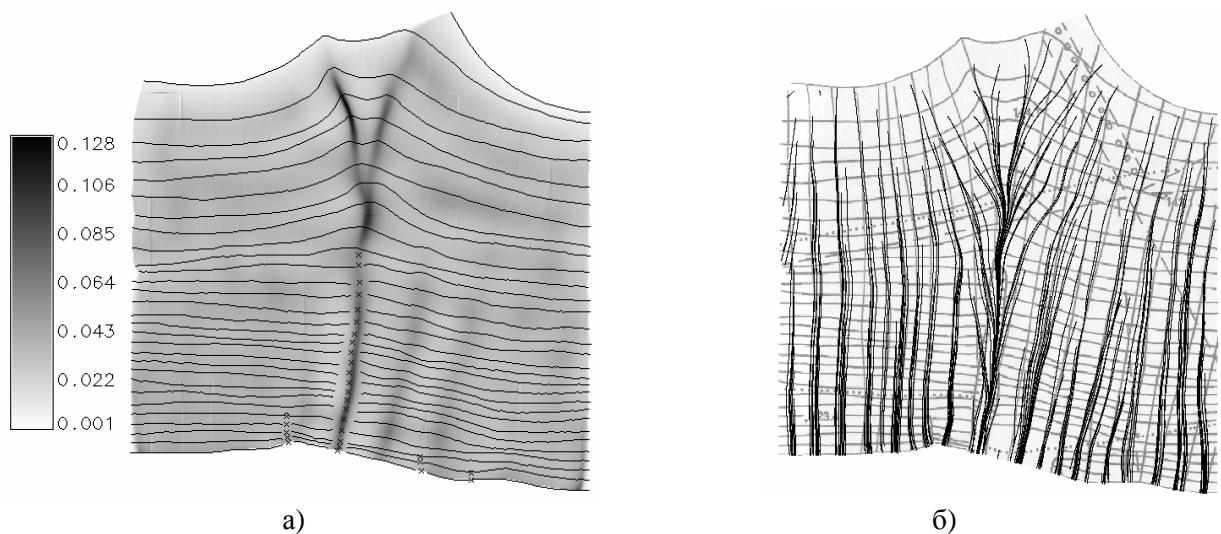
Подальше моделювання модулями *r.sim.water* (реалізація моделі водної ерозії SIMWE) показало ступінь впливу кількості опадів на поширення концентрованих водних потоків і товщину шару води (рис. 3а). Порівняння отриманих результатів (рис. 2б та 3а) дозволяє стверджувати, що існує чітка відповідність між реально існуючими у рельєфі мікропониженнями та підвищеннями й розподілом атмосферної вологи по території, отриманим шляхом симуляції її надходження у процесо-орієнтованій моделі SIMWE.

Оскільки результати дослідження модельного об'єкту засвідчили, що надлишок опадів достовірно впливає на величину обводненості, то нами проведено подальший гідрологічний аналіз ЦМР модулем GRASS *r.flow*: дослідження можливих

траєкторій руху тимчасових мікро- і мезопотоків води по поверхні схилу, які згідно висунутої гіпотези повинні відповідати дискретним, існуючим у природі папілярам стоку. Отримані результати (рис. 3б) свідчать про високу достовірність проведеного виділення. У лівій частині тестової ділянки відповідність вища, справа є деякі варіації у формі та відхилення розташування теоретичних ліній розподілу від реальних. Одним із можливих пояснень такого є ряд припущень, зокрема: а) незадовільна точність нанесення ізогіпс на вихідну топокарту і невідповідність їх форми реальним обрисам у рельєфі внаслідок спотворень різного роду; б) застаріла топографічна основа і перенесені з природи контури папілярів не співвідносяться з зафіксованим десятиліття тому геоморфологічними формами.



**Рис. 2. Результати аналізу цифрової моделі рельєфу:**  
а) карта крутизни схилів; б) карта гравітод (областей дивергенції/конвергенції)



**Рис. 3. Гідрологічний аналіз ЦМР:**  
а) товщина шару води на поверхні для дощу середньої інтенсивності (мм);  
б) відповідність теоретичного розподілу ліній стоку нативним папілярам стоку

Оцінка отриманих результатів показує їх високу ефективність у дослідженнях подібного роду навіть на застарілій топографічній основі. Підвищення точності вихідних даних до сучасного рівня [21] й використання високороздільних ортофото- та космоснімків у різних спектральних діапазонах дозволить істотно скоротити польовий етап, або в майбутньому звести його до мінімуму.

**Висновки.** Отримані результати дозволяють стверджувати, що виділення папілярів стоку засобами ГІС шляхом моделювання та аналізу цифрової моделі рельєфу (ЦМР) є можливим і доступним процесом для широкого кола фахівців. Перевірка коректності таких дій із застосуванням процесорієнтованих моделей водної ерозії дозволяє отримувати ілюстративний та чисельно-розрахунковий матеріал, необхідний для розробки проектів протиерозійної організації території в землеустрої за різних сценаріїв землекористування.

### Список літератури

1. Козьмук П.Ф. Земельні ресурси Буковини: стан, моніторинг, використання / Козьмук П.Ф., Куліш В.І., Чернявський О.А. – Чернівці: Букрек, 2007. – 384 с.
2. Ачасов А.Б. Ґрунтово-геоінформаційні засади протиерозійної оптимізації агроландшафтів: теорія і практика: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук: спец. 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика» / А.Б.Ачасов. – К., 2009. – 40 с.
3. Белоліпський В.А. Еколого-гідрологічний аналіз ґрунтово-водоохоронних степних агроландшафтів України / В.А.Белоліпський, С.Ю.Бульгін // Почвоведение. – 2009. – №6. – С. 733-743.
4. Зубов О.Р. Теоретичні та прикладні основи формування систем ґрунтоохоронних заходів постійної дії в агроландшафтах (на прикладі східної частини України): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук: спец. 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика» / О.Р. Зубов; Ін-т ґрунтознав. та агрохімії ім. О.Н.Соколовського УААН. – Харків, 2001. – 32 с.
5. Шелякин Н.М. Контурно-мелиоративное земледелие на склонах / Шелякин Н.М., Белоліпський В.А., Головченко И.Н. – К.: Урожай, 1990. – 168 с.
6. Пат. 94516 Україна, МПК' А 01 В 13/00, А 01 В 13/16. Схилловий механізм захисту земель від водної ерозії / Полупан М.І., Соловей В.Б., Волков П.О.; заявник і патентовласник Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії

- ім.О.Н.Соколовського». – №13640/a2009; заявка 28.12.2009; опубл. 10.05.11, Бюл. №9.
7. Полупан Н.И. Влияние микрорельефа склоновых земель на процессы эрозии / Н.И.Полупан // Почвоведение. – 1998. – №6. – С. 753-762.
  8. Полупан М.І. Природний механізм захисту схиллових ґрунтів від ерозії / М.І.Полупан, П.О.Волков // Вісник аграрної науки. – 2010. – №5. – С. 58-63.
  9. Природний механізм захисту схиллових ґрунтів від ерозії / [Полупан М.І., Балюк С.А., В.Б.Соловей та ін.]; за ред. М.І.Полупана. – К.: Фенікс, 2011. – 144 с.
  10. Geographic Resources Analysis Support System <http://grass.fbk.eu/>
  11. Черлінка В.Р. Особливості та актуальність використання системи підтримки аналізу географічних ресурсів (GRASS) / В.Р.Черлінка, Ю.М.Дмитрук // Ученые записки Таврийского национального университета им. В.И.Вернадского. – Серия: География. – 2011. – Т.24 (63). – №1. – С. 3-7.
  12. Debian GNU Linux – the universal operating system <http://www.debian.org/index.en.html>
  13. GNU GENERAL PUBLIC LICENSE <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>
  14. Easy Trace 7.99 <http://www.easytrace.com>
  15. Mitašova H. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation / H.Mitašova, L.Mitaš // Mathematical Geology. – 1993. – Vol. 25. – №.6. – pp. 641-655.
  16. Neteler M. Open Source GIS: a GRASS GIS approach (3rd edition) / M.Neteler, H.Mitasova. – New York: Springer, 2008. – 406 p.
  17. Дмитрук Ю.М. Окремі аспекти організації території на основі виокремлення потоково-орієнтованих структур із використанням ГІС GRASS / Ю.М.Дмитрук, В.Р.Черлінка // Землеустрій і кадастр. – 2011. – №3. – С. 57-64.
  18. Mitas L. Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention / L.Mitas, H.Mitasova // Water Resources Research. – 1998. – №34(3). – pp. 505-516.
  19. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) <http://zakon.rada.gov.ua/go/z0393-98>
  20. Степанов И.Н. Теория пластики рельефа и новые тематические карты / Степанов И.Н. – М.: Наука, 2005. – 230 с.
  21. Шавук В.С. Теоретическое обоснование цифровой фотограмметрической системы обработки космических снимков высокого разрешения: автореф. дис. на соиск. науч. степени к-та тех. наук: спец. 25.00.34 «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия» / В.С.Шавук. – М., 2009. – 24 с.

## FEATURES OF RUNOFF PAPILLAR'S SELECTION BY USING GIS

V.R. Cherlinka

*The use of modern protection mechanism of slopes land from water erosion is optimized for the analysis of papillar runoff, which by this time stood only in nature. The features of its selection by GRASS GIS using modelling and analysis of digital terrain model and the validation of such actions with the use of process-oriented model of water erosion SIMWE in the context of land development applications were shown.*

*Keywords: papillar of runoff, erosion, model, DEM*

Одержано редколлеґією 19.01.2012