

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 624.131.1+528

РАЙОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ МІСТА ЧЕРНІВЦІ ЗА СТУПЕНЕМ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ

Боднарюк К.Г., Жупник М.-О.М., Талах М.В.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Показано ефективність аналізу цифрових моделей рельєфу для виявлення зсувонебезпечних процесів на прикладі м. Чернівці. Розраховано ряд геоморфометричних параметрів досліджуваної території, що стали підґрунтям для побудови синтетичної карти зсувонебезпечності, яка була отримана на основі багатокритеріальних методів прийняття рішень. Описано та доведено ефективність запропонованого підходу, як складової прогнозування регіональної зсувонебезпеки.

Ключові слова: геоінформаційні системи (ГІС), цифрова модель рельєфу (ЦМР), екзогенні геологічні процеси (ЕГП), зсув, згортка, багатокритеріальні методи прийняття рішень, районування зсувонебезпеки (РЗН).

Постановка проблеми. В сучасних умовах господарювання, що спричиняють значні зміни у навколишньому природному середовищі актуальним є питання ефективного попередження небезпечних динамічних процесів у верхній зоні геологічного середовища. Серед усіх можливих геологічних процесів природного і природно-техногенного походження зсуви є найбільш небезпечними. Вони виникають переважно на територіях населених пунктів, тим самим створюючи загрозу життєдіяльності населення, інфраструктурі та території в цілому [1]. Для дослідження умов і чинників формування зсувних процесів і районування території за ступенем зсувонебезпечності необхідне комплексне вивчення ЕГП, з урахуванням просторово-часового прогнозу. Наразі, з цією метою використовують ГІС. Однак складові процесу ЕГП, особливо просторові, мають різну динаміку та різні фактори, тому побудова узагальнених просторових карт дасть можливість комплексно досліджувати зсувонебезпечні процеси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливість розгляду питання вивчення факторів та умов ЕГП демонструють Світові форуми зсувів, що відбулися у Парижі (2002 р.), Токіо (2008 р.), Римі (2011 р.), Пекіні (2014 р.) [11].

Районування зсувонебезпеки за останні три десятиліття було проведено в різних частинах світу. Деякі методи були розроблені для ймовірнісної оцінки, детермінованого підходу, статистичного аналізу та багатокритеріальних методів прийняття рішень. Кращими є підходи, засновані на статистичному аналізі геоекологічних факторів. Зокрема, найбільш об'єктивним методом оцінки безпеки зсувів виявився багатфакторний підхід [10].

Серед вітчизняних вчених вагомим внеском є дослідження Д.В. Касіячука, які є основою для удосконалення існуючих ГІС прогнозування ЕГП, в тому числі з урахуванням впливу глобальних змін клімату (потепління, збільшення кількості і нерівномірності опадів тощо). Побудовані ним схематичні карти ймовірності зсувної, карстової, селевої небезпек дали змогу відзначити існуюван-

ня значної відмінності складових, які сприяють розвиткові й активізації екзогенних геологічних процесів [4, 5, 6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз, комплексна оцінка та інтерпретація різномірної інформації для прогнозу поширення небезпечних геологічних процесів інструментально забезпечується застосуванням ГІС-технологій, оскільки більшість методів потребують обробки значних обсягів даних. Зокрема, актуальним питанням є використання ЦМР та програмного забезпечення, що дозволяє автоматизувати процес аналізу, прогнозування й прийняття рішень.

Районування зсувонебезпеки є процесом ранжирування різних частин області відповідно до ступеня фактичної або потенційної небезпеки зсувів [9]. Подібні дослідження можуть стати основою для створення комплексного підходу районування території за рівнем зсувонебезпечності на основі ЦМР та дистанційних методів дослідження території.

Мета статті. Розробка та апробація синтетичного багатокритеріального підходу районування території в залежності від рівня зсувонебезпечності з застосуванням ГІС технологій на основі ЦМР.

Виклад основного матеріалу. В якості основи для аналізу була застосована цифрова модель вистог (ЦМВ) території м. Чернівці, яка була отримана з каталогу CGIAR-CSI [12]. Дана ЦМВ результат співпраці Національного управління США з авіонавтики та досліджень космічного простору, Лабораторії реактивного руху NASA, Національних космічних агентств Німеччини та Італії та інших міжнародних організацій. Її визначальною особливістю є оперативне оновлення інформації, що надається користувачам. Для отримання ЦМР території міста входні дані «обрізаються» відповідно до «території інтересу» за полігоном, створеним на основі топографічної карти з відповідною географічною прив'язкою (рис. 1).

Описана вище та всі наступні операції аналізу проводились з використанням відкритої настільної геоінформаційної системи SAGA (4.0.0).

На основі аналізу літературних даних, встановлено, що одними з основних природних факторів виникнення зсувів є ЕГП [3, 7]. Зокрема, були виділені наступні геоморфометричні параметри, що мають найбільший вплив на інтенсивність прояв зсувних процесів: показник ухилу поверхні, експозиції поверхні, планової, профільної та загальної кривизни (рис. 2).

Наступним етапом дослідження стало створення синтетичної карти, що дає цілісне уявлення про досліджуване явище на основі інтегрального показника [2]. Синтетичні карти зазвичай

створюють шляхом інтеграції даних, що відображені в серіях вхідних аналітичних карт. Це можна зробити вручну (у випадку невеликої кількості показників) або використовуючи методи математичного моделювання. В данному випадку нами були використані багатокритеріальні методи прийняття рішень. Для їх застосування необхідно встановити внесок окремих факторних характеристик у процес активізації зсувів. Зокрема це можна здійснити на основі визначення вагових коефіцієнтів. Багатокритеріальний підхід надає інструменти для визначення ваги на основі парного порівняння [10].

В даній роботі для отримання синтетичних карт застосовувались багатокритеріальні методи прийняття рішень. А саме, наступні типи згорток:

- лінійна

$$K_i(a) = \sum_{m=1}^n a_{nm} w_m, \text{ де } \sum_{m=1}^n w_m = 1 \quad (1)$$

- максимінна

$$a^* = \arg \max \min a_{nm} w_m \quad (2)$$

- мультиплікативна

$$K_i(a) = \left(\prod_{m=1}^n a_{im} \right)^{w_m}, \quad (3)$$

рішення a^* є найкращим, якщо виконується умова:

$$a^* = \arg \max K_i(a).$$

Загальний алгоритм формування інтегральної карти подано на рисунку 3.

Оскільки, значення досліджуваних показників є різномірними для їх включення в єдину математичну модель попередньо проводилась процедура нормування, тобто ділення кожного елемента масиву на середнє квадратичне відхилення.

Застосування мультиплікативної згортки, як результуючого правила, в даному випадку виявилось неможливим, оскільки, в результаті реалізації алгоритму Zevenbergen-Thorne (1987) в SAGA для обрахунку параметрів кривизни, опуклі ділянки характеризуються додатними значеннями, а увігнуті – від'ємними. Надалі, алгоритм мультиплікативної згортки може передбачати піднесення до непарного степеня від'ємних чисел, в результаті чого отримуються комплексні числа, що не можуть бути представлені у вигляді картографічної інформації.

Одним з методів перевірки адекватності отриманих результатів є встановлення їх стійкості у випадку отримання різними методами. В даному випадку, синтетичні карти отримані на основі методів лінійної та максимінної згорток демонструють максималь-

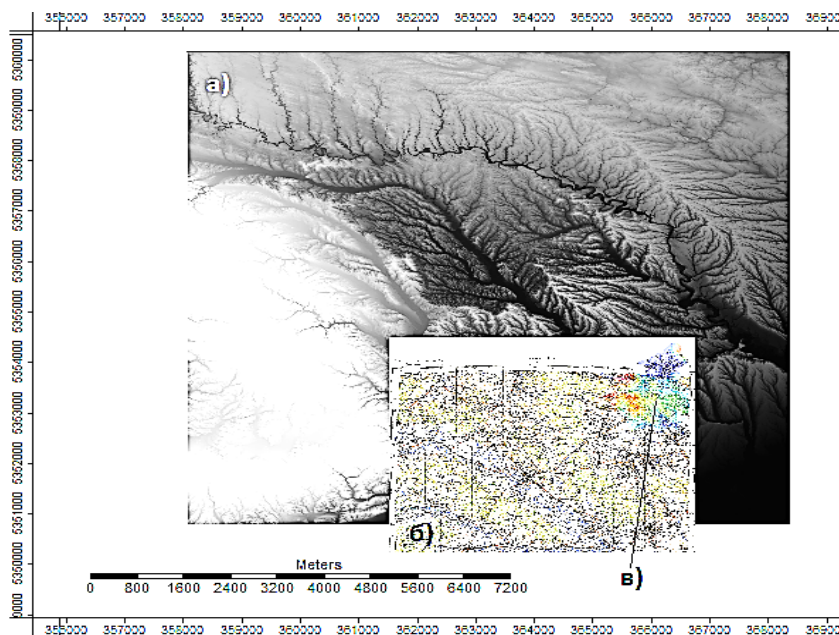


Рис. 1. Отримання ЦМВ досліджуваної території:
а) ЦМВ з каталогу CGIAR-CSI, б) листи топографічної карти Генштабу М-35-136 та М-35-124, в) територія м. Чернівці

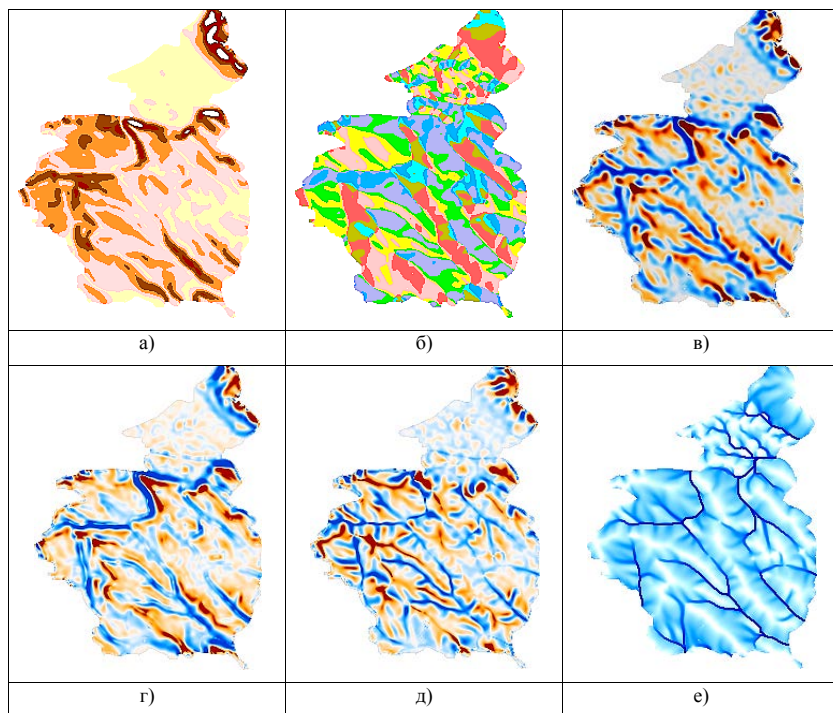


Рис. 2. Основні геоморфометричні параметри:
а) ухил поверхні, б) експозиція поверхні, в) загальна кривизна,
г) горизонтальна кривизна, д) вертикальна кривизна,
е) водозбірна площа

ну подібність (рис. 4 а,б). Узгодженість даних типів згорток була перевірена шляхом підрахунку коефіцієнта варіації для кожного пікселя. У разі коли даний показник не перевищує 0,2 оцінки вважають узгодженими [8]. В нашому випадку, така розбіжність спостерігалась лише у 19% випадків (рис. 4 в).

Для більш наочного представлення результатів дослідження були підібрані індивідуальні шкали в залежності характеру (частоти) розподілу вздовж осі результуючого показника. В даному дослідженні для зручного представлення ми виділили 5 градаций: дуже високий, високий, середній, низький та дуже низький рівень зсувонебезпеки.

Висновки та пропозиції.

В зв'язку з постійно зростаючим впливом антропогенних факторів на навколишнє середовище надзвичайної актуальності набуває створення нових підходів та методів, що дозволять констатувати, аналізувати та прогнозувати явища в природних системах. Таким чином, в роботі показано ефективність запропонованого методу аналізу цифрових моделей рельєфу для визначення ступеня зсувонебезпечності, на основі аналізу ряду геоморфометричних параметрів досліджуваної території та застосування багатокритеріальних методів прийняття рішень. На основі даного алгоритму була побудована синтетична карта, що відображає районування території м. Чернівці за рівнем зсувонебезпечності.

Загалом, районування зсувонебезпечності є одним з основних компонентів в процесі управління зсувами. Оцінка динаміки даного процесу дозволить забезпечи-

ти безпечно будівництво й експлуатацію господарських інженерних споруд, планувати заходи щодо запобігання аварійних ситуацій, що підвищить стабільність екогосистем та рівень екологічної безпеки регіону.

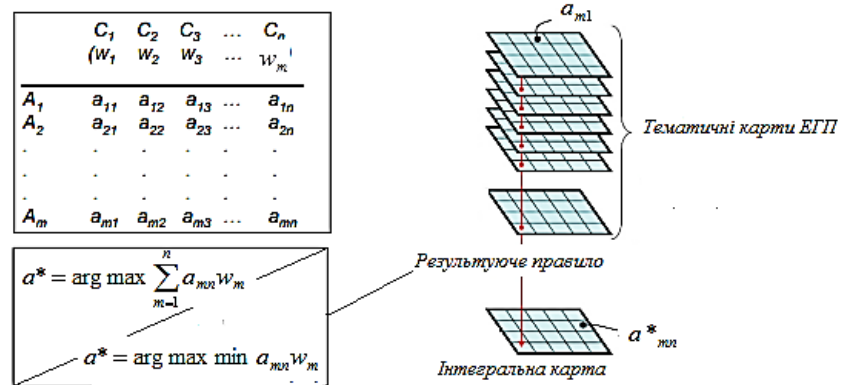


Рис. 3. Алгоритм формування інтегральної карти: a_{mj} – альтернатива (в якості якої виступають значення атрибутивної ознаки в кожному пікселі); a^*_{mj} – результуюче значення; w_m – вагові коефіцієнти, C_1 – критерії, якими є досліджувані ЕГП

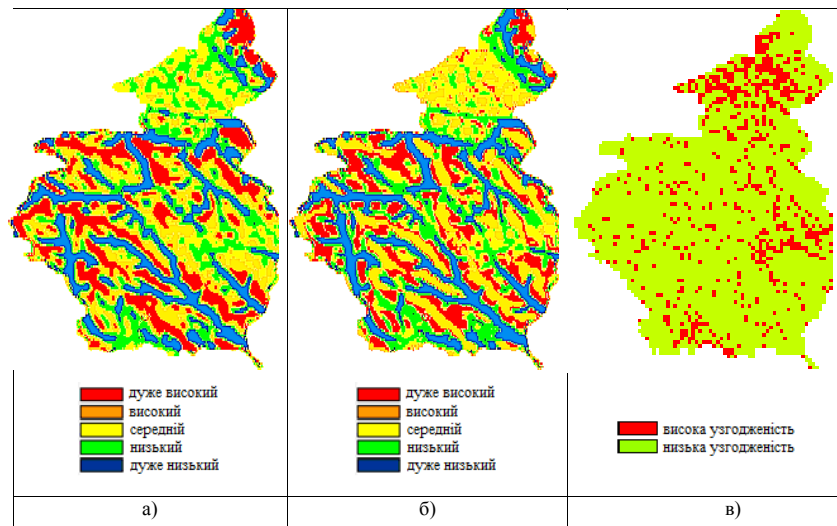


Рис. 4. Карти зсувонебезпечності, побудовані на основі різних результуючих правил: а) лінійна згортка, б) максимінна згортка, в) узгодженість даних згорток

Список літератури:

- Джигирей В. С. Безпека життєдіяльності / В. С. Джигирей, В. Ц. Житецький. – Львів: Афіша, 2001. – 256 с.
- Жмойдяк Р. А. Картография / Р. А. Жмойдяк, Л. В. Атоян. – Минск, 2006. – 192 с.
- Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения оползней и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов [Научное открытие]. Диплом № 310 / Кузьменко Э. Д., Крыжановский Е. И., Карпенко А. Н., Журавель А. М. // Научные открытия: сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез. – 2006. – Москва: МААНОИ, 2007. – С. 64-65.
- Касіячук Д. В. Ймовірність розподілу зсувної небезпеки на території Івано-Франківської області [Електронний ресурс] / Д. В. Касіячук // International scientific journal – № 8. – С. 10-14. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mnj_2015_8_5
- Касіячук Д. В. Обґрунтування вибору факторів активізації небезпечних геологічних процесів (на прикладі території Карпатського регіону) [Електронний ресурс] / Д. В. Касіячук // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2014. – № 2. – С. 42-52. – Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ebzr_2014_2_8
- Касіячук Д. В. Статистичний аналіз факторів природної та техногенної складової зсувів / Д. В. Касіячук, 2014. – (Геологія – Географія – Екологія; № 1128). – С. 139-148. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VKhG_2014_1128_41_29.pdf/.
- Фоменко И. К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности: дис. докт. геол.-мін. наук: 25.00.08 / Фоменко И. К. – Москва, 2014. – 318 с.
- Яшкіна О. І. Статистичні інструменти визначення узгодженості думок експертів в маркетингових дослідженнях [Електронний ресурс] / О. І. Яшкіна – Режим доступу до ресурсу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukpi_2013_10_74.pdf

9. Landslide Susceptible Zone Mapping in Uttara Kannada, Central Western Ghats [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/pubs/ETR/ETR28/ETR28.pdf>
10. Pardeshi S. D. Landslide hazard assessment: recent trends and techniques [Електронний ресурс] / Pardeshi. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4320231/>.
11. Sendir H. Structural, geomorphological and geomechanical aspects of the Koyulhisar landslides in the North Anatolian Fault Zone (Sivas, Turkey) / H. Sendir, I. Yılmaz // Environmental Geology. – Vol. 42. – 2002. – P. 52-60.
12. The CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://srtm.csi.cgiar.org/>.

Боднарюк К.Г., Жупник М.-Е.М., Талах М.В.

Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЧЕРНОВЦЫ ПО СТЕПЕНИ ОПОЛЗНЕВЫХ ОПАСНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Аннотация

Показана эффективность анализа цифровых моделей рельефа для выявления оползневых процессов на примере г. Черновцы. Рассчитан ряд геоморфометрических параметров исследуемой территории, которые стали основой для построения синтетической карты оползней, которая была получена на основе многокритериальных методов принятия решений. Описана и доказана эффективность предложенного подхода, как составляющей прогнозирования региональной опасности оползней.

Ключевые слова: геоинформационные системы (ГИС), цифровая модель рельефа (ЦМР), экзогенные геологические процессы (ЭГП), смещение, свертка, многокритериальные методы принятия решений, районирование оползневой опасности (РОО).

Bodnariuk K.G., Zhupnyk M.-E.M., Talakh M.V.

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

LANDSLIDE HAZARD ZONING OF THE CHERNIVTSI CITY'S TERRITORY BASED ON THE ANALYSIS OF A DIGITAL RELIEF MODEL

Summary

The efficiency of the analyses of digital relief models for revealing landslide processes is shown by the example of Chernivtsi. A number of geomorphometric parameters of the investigated territory were calculated and used as the basis for designed an synthetic map of landslides, using of multicriteria decision-making methods. The efficiency of the proposed approach was described and proved that can be used as a component of forecasting the regional landslide hazard.

Keywords: geoinformation systems (GIS), digital relief model (DEM), exogenous geological processes (EGP), landslide, convolution, multicriteria decision-making methods, landslide hazard zoning (LHZ).