

КАРТОГРАФІЯ ТА АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

УДК 528 48:624.131.31

П. Г. ЧЕРНЯГА¹, В. І. НИКУЛШИН², М. А. ПРИЙМАК³, Т. В. БЛЕЯНЮК⁴

^{1, 2, 4} Кафедра картографії та геопросторового моделювання, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38(032)2580748.

³ Державне підприємство “Рівненське державне науково-виробниче підприємство геодезії та кадастру” (ДНВП “Рівнегеокадастр”), вул. 16 Липня, 38, Рівне, Україна, 33028

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КАРТОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗА ДАНИМИ ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Мета. Метою цієї статті є розробка методичних положень та практичних рекомендацій стосовно експериментально-картографічного моделювання динаміки активної зсувної території на основі серійних геодезичних вимірів на ній. Це дасть змогу детальніше вивчити природу та стан зсувного процесу в геопросторовому середовищі. **Методика.** На основі серійних результатів геодезичних спостережень за зсувом нами запропоновано методику створення картографічних моделей, а саме: 3D-модель території із нанесенням векторів напрямку руху зсуву, модель зміщення земної поверхні та на основі таких моделей і їх модифікації визначати поверхню ковзання зсуву. Така методика дає можливість створити комплексну картографічну модель оцінки стану зсувного тіла. **Результати.** Отримано картографічну модель зсувонебезпечної території. Для перевірки достовірності цієї картографічної моделі ми використали матеріали інженерно-геологічних вишукувань щодо глибини залягання поверхні ковзання. За нашими дослідженнями глибина залягання поверхні ковзання на цій поверхні була від 1,2 до 3,0 м. За результатами інженерно-геологічних вишукувань (4 свердловини) глибина поверхні ковзання зсуву відрізнялась до 0,47 м. Такі результати підтверджують достовірність нашої моделі, а, особливо, глибини залягання поверхні ковзання. **Наукова новизна** полягає в тому, що створення картографічних моделей територій з активними зсувними процесами за допомогою експериментально-картографічного моделювання на основі геодезичних вимірів є новою проблемою, яка дасть можливість дослідити зсувне тіло в просторі та часі, а з урахуванням якісних характеристик (інженерні ґрунти, ґрунтові води, рослинність тощо) – і з ґносеологічного погляду. **Практична значущість.** Використовуючи методику створення картографічної моделі зсуву земної поверхні в просторі та часі з використанням кількісних і якісних показників спостережень, можна виконати в комплексі з інженерно-геологічними, геоморфологічними, гідрогеологічними, метеорологічними та іншими дослідженнями достатню оцінку стану зсувного тіла на будь-якій території з майбутнім прогнозом. Такі дослідження мають комплексний та систематичний підходи щодо зниження загроз, які несуть зсуви.

Ключові слова: експериментально-картографічна модель; зсув; поверхня ковзання; вектори зміщень; 3D-модель.

Вступ

Дослідженням зсувів щорічно присвячують численні наукові публікації в широковідомих у світі періодичних виданнях з будівництва, геотехніки, екології, інженерної геології, природокористування тощо [Миколенко Л., 2010; Стефанишина Ю. Д., 2010; Molinari M. E. and other, 2014]. Також є роботи з дослідженням зсувів за геодезичними спостереженнями [Кузнецов А. И., 2013; Куперіб Н. А. та ін., 1981; Терещук, 2009 Телятник А. А., 1993; Gili J. A. and other, 2000; Mora P. and other, 2003].

Зусиллями вчених різних країн в останні роки проведено низку представницьких конференцій та симпозіумів з проблем зсувних процесів. Міжнародна дослідницька група зі зсувів (International Landslide Research Group), що наразі становить близько 450 членів з 55 країн світу, опублікувала 22 томи оригінальних робіт, більша частина яких (з 1999 р.) представлена в Internet. Активну роботу щодо актуалізації досліджень зсувів проводить також Європейська робоча група зі зсувів (European Landslide Working Group). Історичною подією

для об'єднання зусиль вчених світу навколо проблеми зсувів став Перший всесвітній форум зі зсувів (The First World Landslide Forum), що відбувся в листопаді 2008 р. в Токіо.

Утворення зсувних процесів на певній території залежить від порушення природної рівноваги залягання гірських порід з розривом їх суцільності та переміщенням.

Комплексне дослідження зсувних процесів та створення моделі таких процесів на основі кількісних та якісних характеристик їх утворення та прогнозу розвитку є досить актуальною проблемою, особливо під час використання геодезичних вимірів у комплексі з геологогідрологічними характеристиками. Такими моделями можуть бути просторові картографічні з повним описом стану процесу. Вони представляють механізми функціонування процесів у часі та просторі, вивчають зв'язки між елементами системи, їхню динаміку, прогноз розвитку тощо. Тому якраз створення експериментально-картографічної моделі на основі геодезичних вимірів є новою проблемою, яку ще сповна не реалізують під час вивчення та прогнозування активних зсувних процесів [Степчук В. М., 2009].

Мета

Метою цієї статті є розробка методичних положень та практичних рекомендацій стосовно експериментально-картографічного моделювання динаміки активної зсувної території на основі серійних геодезичних вимірів на ній. Це дасть змогу детальніше вивчити природу та стан зсувного процесу в геопросторовому середовищі.

Методика

Під час побудови картографічної моделі зсувного тіла на основі експериментально-картографічного моделювання ми створили: модель зміщення земної поверхні, 3D-модель території з нанесеними векторами напрямку руху зсуву та модель поверхні ковзання.

Зупинимось на методико-технологічних принципах побудови такої моделі.

Вихідними матеріалами для створення експериментально-картографічної моделі були топографічні плани в масштабі 1:500. У роботі використовувались результати геодезичних спостережень за робочою геодезичною мере-

жею на зсуві в Карпатах на трасі нафтопроводу "Дружба". Спостереження виконував один з авторів цієї статті з подальшим опрацюванням їхніх результатів. Планове положення опорних і робочих пунктів визначалися методом триангуляції, а висоти точок – геометричним нівелюванням III кл. Середня квадратична похибка просторового положення робочого пункту у проміжній серії спостережень становила $\pm 0,08$ м.

Для автоматизації створення фрагментів картографічної моделі використано окремі модулі геоінформаційної системи ArcGis, які вміщують функції та інструменти, необхідні для введення, збереження, аналізу та візуалізації просторової інформації. Сьогодні ГІС широко використовують для вивчення зсувних процесів.

Тепер стало можливим створення єдиної бази даних, яка вміщувала б всю нагромаджену інформацію, з моменту формування зсувних тіл. Передусім необхідним є створення концептуальної моделі. Реалізація такого проекту дає можливість виконувати моделювання та багатофункціональний аналіз у сучасних ГІС-системах [Фріндт М., 2010].

Основним і найбільш об'ємним етапом є нагромадження інформації та створення бази геоданих. Як відомо, база геоданих може містити три основні типи наборів даних: класи просторових об'єктів (таблиці, що містять точкову, лінійну чи полігональну геометрію для географічних об'єктів), набір растрових даних, таблиці.

Ми створювали базу геоданих в ArcGis. База геоданих – це "рідна" для ArcGIS структура даних; вона є основним форматом даних, що використовується для редагування і управління даними. Хоча ArcGIS працює з географічною інформацією, що наявна в різних форматах ГІС, усі його потужні функціональні можливості використовують саме в базах геоданих.

На першому етапі в базу завантажено растрові плани досліджуваної території та таблиці координат опорних пунктів геодезичної мережі, сформовані на основі спостережень з 1992 по 2002 рр у форматі Microsoft Excel. Для растрових даних виконано географічну прив'язку. Під час роботи база геоданих поповнювалась класами геопросторових та растрових даних. До геопросторових можна зарахувати оцифровані горизонталі (лінійні) за допомогою растрової

підкладки, пункти опорної геодезичної мережі, нанесені за координатами (точкові) та вектори зміщень земної поверхні (лінійні). Також після опрацювання оцифрованих горизонталей побудовано цифрову модель рельєфу досліджуваної ділянки.

З використанням цифрової моделі рельєфу побудовано 3D-модель території із нанесеними векторами напрямку руху зсуву (рис. 1).

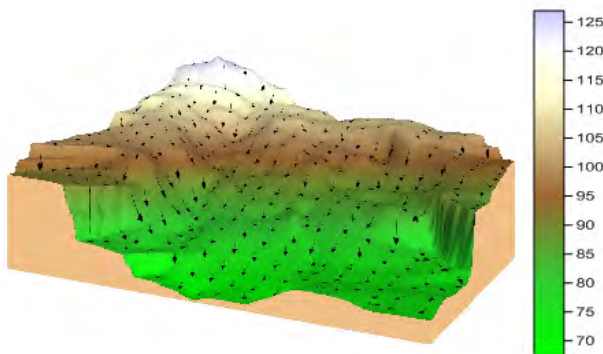


Рис. 1. 3D-модель території із нанесеними векторами напрямку руху зсуву (значення висот подані в метрах)

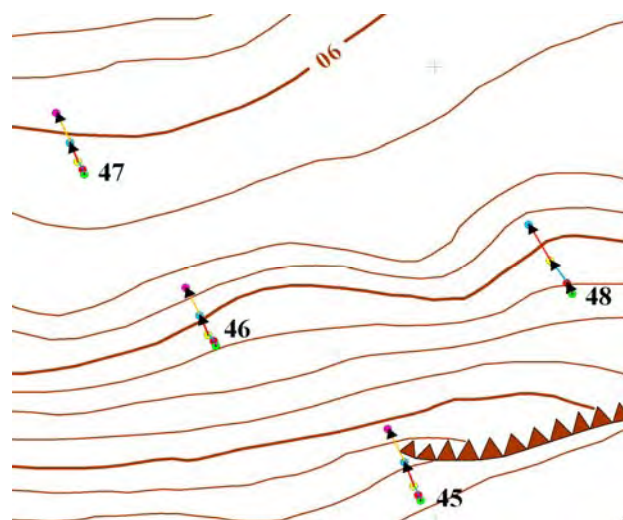
Fig. 1. 3D-model of territory with causing of landslide movement direction (the values of heights are presented in meters)

Топографія земної поверхні – це надійна інформація про зсувну активність у минулому та наявну потенційну небезпеку. Для вивчення зсувів необхідно мати найширшу деталізацію геопросторових даних інфраструктури, які є на зсувонебезпечній території. Оскільки топографія зсуву безперервно змінюється, то знімання ділянки необхідно виконувати для різних періодів часу залежно від швидкості зсуву, природних умов та впливу людського фактора.

Основним практичним методом отримання інформації про механізм зсувів є спостереження за деформаціями в часі. Використання нових технологій дає змогу спостерігати за деформаційним процесом у тривимірному просторі. Наочно механізм зсувних зміщень можна представити за допомогою векторів зміщень робочих реперів. На рис. 2 показано фрагмент моделі зміщення земної поверхні.

На основі вище створених моделей можна побудувати поверхню ковзання зсуву, яка є

важливою для побудови картографічної моделі об'ємного тіла. Для визначення поверхні ковзання в тілі зсуву створюють мережу з свердловинами і за геологічними пробами, взятими з цих свердловин, визначають положення поверхні ковзання. Такий метод є трудомістким та економічно неефективним. Тому в цій статті використано методику визначення поверхні ковзання за геодезичними спостереженнями [Куперіб Н. А. та ін., 1981].



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- > Вектор зміщення реперів з 1990 року по 1993 рік
- > Вектор зміщення реперів з 1990 року по 1996 рік
- > Вектор зміщення реперів з 1993 року по 1996 рік
- > Вектор зміщення реперів з 1996 року по 1999 рік
- > Вектор зміщення реперів з 1996 року по 2002 рік
- > Вектор зміщення реперів з 1999 року по 2002 рік
- Репери, розташовані на зсуві та трубах станом на 1990 рік
- Репери, розташовані на зсуві та трубах станом на 1993 рік
- Репери, розташовані на зсуві та трубах станом на 1996 рік
- Репери, розташовані на зсуві та трубах станом на 1999 рік
- Репери, розташовані на зсуві та трубах станом на 2002 рік

Рис. 2. Фрагмент моделі зміщення земної поверхні
Fig. 2. Fragment of model of displacement of earth surface

Для реалізації методики використаємо ділянку зсуву з мережею геодезичних пунктів і визначеними напрямками векторів \vec{f}_i зміщень цих пунктів за певний проміжок часу t . Вектор \vec{f}_i характеризується скалярною величиною f_i , дирекційним кутом α_i та кутом нахилу ν_i (рис. 3).

Ці величини визначаємо за такими формулами (в формулах (1–8) та рисунках 3, 4 змінні, що використовуються, належать до i -го пункту):

$$\begin{aligned} f &= \sqrt{S^2 + \Delta H^2}; \\ S &= \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}; \\ \operatorname{tg} \alpha &= \frac{\Delta y}{\Delta x}; \\ \operatorname{tg} v &= \frac{\Delta H}{S}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\Delta x = x_j - x_0$; $\Delta y = y_j - y_0$; $\Delta H = H_j - H_0$; x_j, y_j, H_j – планові координати і висоти геодезичних пунктів, отримані за результатами геодезичних спостережень в j -й серії; x_0, y_0, H_0 – величини, отримані за результатами геодезичних вимірювань у попередній серії.

Вектори зміщень окремих пунктів є паралельні дотичній до поверхні ковзання [Тер-Степанян Г. И., 1972] і можна припустити, що напрямком найбільшого ухилу цієї поверхні співпадає з напрямком α' найбільшого ухилу мезорельєфу в усіх зонах зсувної ділянки.

Знаючи фактичні дирекційні кути α векторів зміщень \vec{f} та їх кути нахилу, можна обчислити максимальні кути нахилу V' поверхні ковзання, яку приймаємо в кожній точці за площину, та їх складові V'_x та V'_y за осями X і Y .

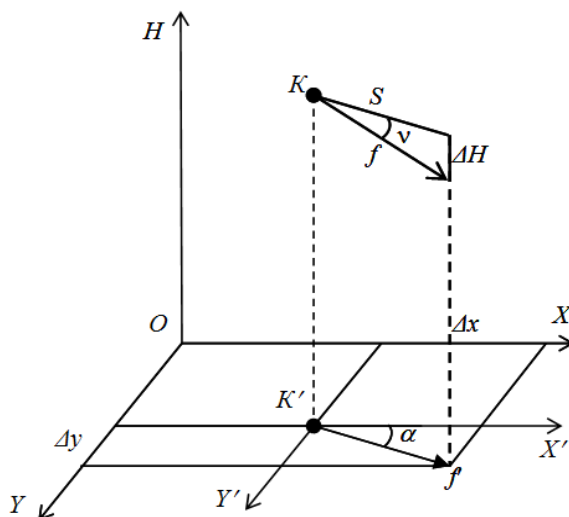


Рис. 3. Основні величини, що характеризують зміщення пункту K

Fig. 3. Basic values that characterize displacement of K point

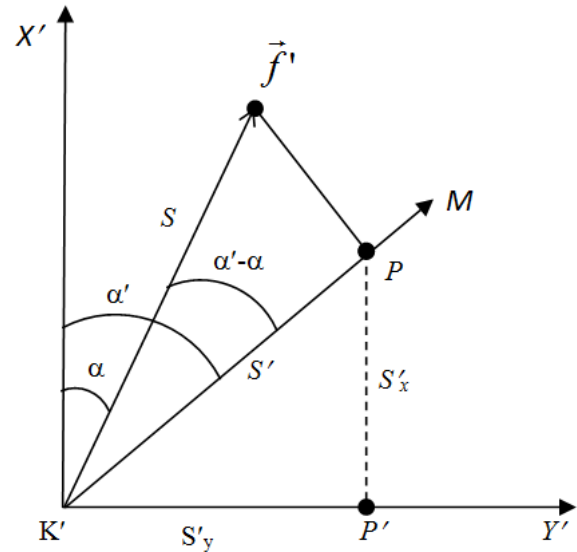


Рис. 4. Проектування вектора \vec{f}' на осі координат (M – напрямок максимального ухилу мезорельєфу; S – довжина вектора \vec{f}' ; S' – довжина відрізка $K'P'$)

Fig. 4. Plumbing of vector \vec{f}' on wasp of coordinates (M – direction of maximal slope of mesorelief; S – length of vector \vec{f}' ; S' – length of segment $K'P'$)

За рис. 4 видно, що

$$S' = S \cos(\alpha' - \alpha), \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} V' = \frac{\Delta H}{S'} = \operatorname{tg} v \sec(\alpha' - \alpha). \quad (3)$$

Для малих кутів формулу (3) можна записати так:

$$V' = v \sec(\alpha' - \alpha). \quad (4)$$

Після проектування вектора \vec{f}' на осі OX та OY отримаємо

$$\begin{aligned} S'_x &= S' \cos \alpha'; \\ S'_y &= S' \sin \alpha'. \end{aligned} \quad (5)$$

Використовуючи формулу (2), для осі X запишемо:

$$\operatorname{tg} V'_x = \frac{\Delta H}{S' \cos \alpha'} = \frac{\operatorname{tg} v \sec(\alpha' - \alpha)}{\cos \alpha'} = \frac{\operatorname{tg} V'}{\cos \alpha'} \quad (6)$$

і для малих кутів:

$$V'_x = \frac{V'}{\cos \alpha'}. \quad (7)$$

За аналогічним принципом отримаємо також формули для осі OY :

$$V'_y = \frac{V'}{\sin \alpha'}. \quad (8)$$

Знаючи V'_x і V'_y у робочих пунктах мережі, за допомогою інтерполяції отримуємо кути нахилу поверхні ковзання V'_x та V'_y для всього зсуву.

На наступному етапі ми обчислили складові кутів нахилу векторів у напрямку осей OX та OY для всіх векторів зміщень. Подальша робота полягала у побудові сітки (grid) з роздільною здатністю 20 м, та визначення в її вузлах методом інтерполяції V'_x або V'_y . На рис. 5 та рис. 6 показано плани ізолій кутів нахилу V'_x і V'_y в напрямку осей X та Y . За допомогою таких планів можна визначити значення V'_x і V'_y в будь-якій точці зсувного тіла, а далі на основі них будувати поверхню ковзання. На них відображено червоною лінією нульова горизонталь, яка фактично вказує на межі тіла зсуву.

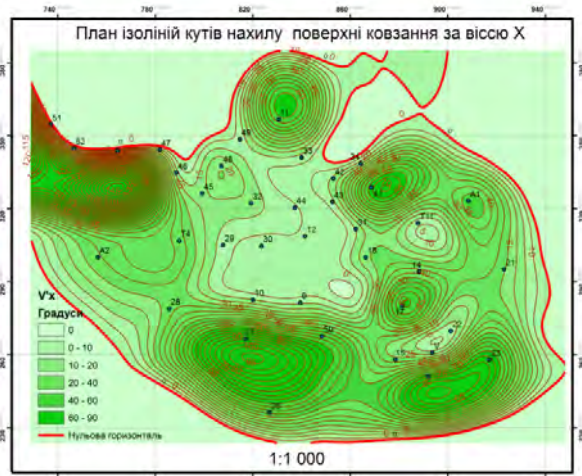


Рис. 5. План ізолій кутів нахилу поверхні ковзання за лінією абсцис X

Fig. 5. Plan of isolines of angles of slip surface at the line of abscissas X

Далі нам необхідно визначити глибини залягання поверхні ковзання (ГЗПК). Для цього треба представити її аналітичною моделлю. Нехай представимо її сферою і тоді в перерізі матимемо коло. Наближено коло можна представити ламаною лінією, яка складатиметься з послідовно з'єднаних хорд. Якщо зменшувати довжину кожної з хорд та збільшувати їхню кількість, то ламана лінія буде наближатися до форми кола. Під час визначення глибин поверхні ковзання за векторами зміщень пунктів перевищення знаходять через кут нахилу хорди і горизонтальною віддаллю між сусідніми точками (рис. 7) [Куцериб Н. А. та ін., 1981].

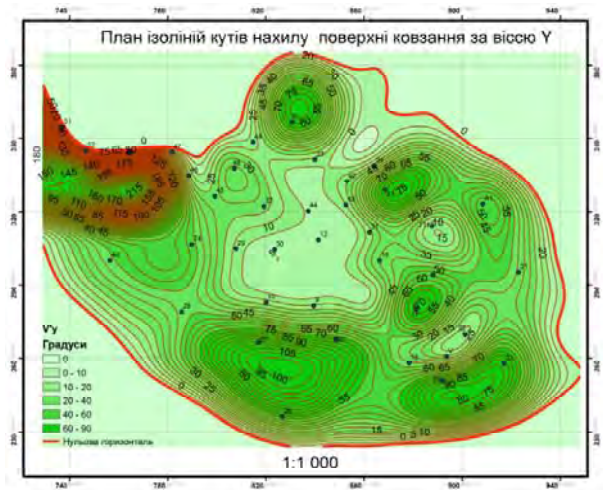


Рис. 6. План ізолій кутів нахилу поверхні ковзання за лінією ординат Y

Fig. 6. Plan of isolines of angles of slip surface at the line of ordinates Y

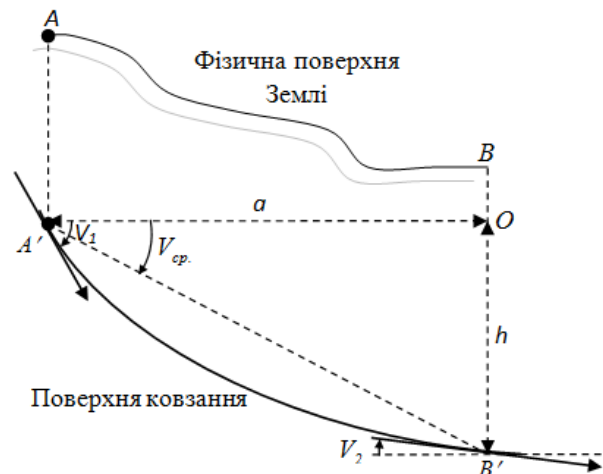


Рис. 7. Вертикальний розріз зсуву за лінією $A-B$

Fig. 7. Vertical transversal section of landslide at the line $A-B$

Як зазначено вище, дотичні до дуги кола в точках A' та B' паралельні до векторів зміщень земної поверхні в пунктах A та B . Якщо кути нахилу цих дотичних дорівнюють V_1 та V_2 , то кут нахилу хорди, що стягує дугу $A'B'$, буде:

$$V_{cp} = \frac{V_1 + V_2}{2}. \quad (9)$$

Тоді з трикутника $A'OB'$ визначимо перевищення:

$$h = a \cdot \operatorname{tg} V_{cp} = a \cdot \operatorname{tg} \frac{V_1 + V_2}{2}. \quad (10)$$

Маючи значення V'_x та V'_y для всього зсуву, розмісуємо сітку квадратів (довжина сторони

квадрата залежатиме від точності визначення поверхні ковзання) зі сторонами, які паралельні до осей координат. Далі визначасмо значення кутів нахилу V'_x та V'_y у вузлах сітки. Після цього будемо повздовжні та поперечні профілі і визначасмо ГЗПК. На рис. 8 схематично зображений профіль поверхні ковзання.

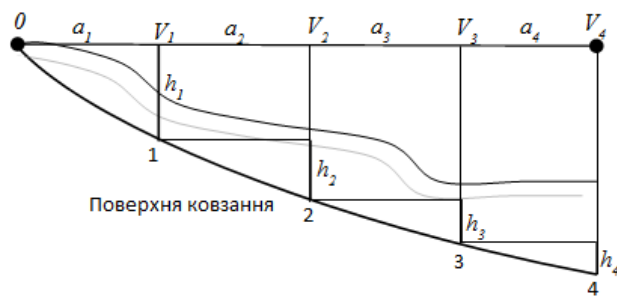


Рис. 8. Схематичне представлення профілю поверхні ковзання

Fig. 8. Schematic representation of profile of slip surface

Для визначення ГЗПК спочатку за формулою (10) обчислюємо значення перевищень h_i , де i – кількість вузлів на профілі, не враховуючи нульовий). ГЗПК для вузла з кутом нахилу V_i визначається як:

$$H_1 = h_1. \quad (11)$$

Наступні значення глибин обчислюємо так:

$$H_i = H_{i-1} + h_i. \quad (12)$$

Обчислення проводились для повздовжніх і поперечних профілів кожного вузла.

За формулою (10) у вузлах розмічувальної сітки вздовж осей OX та OY (використовуючи значення V'_x та V'_y) були обчислені значення h_x для кожної вузлової точки сітки вздовж осі OX , та h_y вздовж осі OY . Отже, для кожної вузлової точки ми отримали два значення глибини залягання поверхні ковзання. Остаточне значення глибини h залягання поверхні ковзання в цих точках визначали як середнє з h_x та h_y . Далі на основі значень h глибин на всьому зсувному тілі можна побудувати поверхню ковзання.

Результати

Описану методику ми застосували на ділянці нафтопроводу “Дружба”, де зсуви виникають завдяки поєднанню природних та техногенних факторів. До них належать: кліматичні особливості району, рельєф місцевості, геоло-

гічна будова схилів і відкосів, сучасні тектонічні рухи та сейсмічні явища, гідрогеологічні умови району, особливості фізико-механічних властивостей гірських порід, глибина залягання поверхні ковзання, інженерна діяльність людини.

На основі топографічних даних, моделі зміщення земної поверхні, геодезичної робочої мережі та даних про поверхню ковзання створено картографічну модель зсувної території, яку зображено на рис. 9.

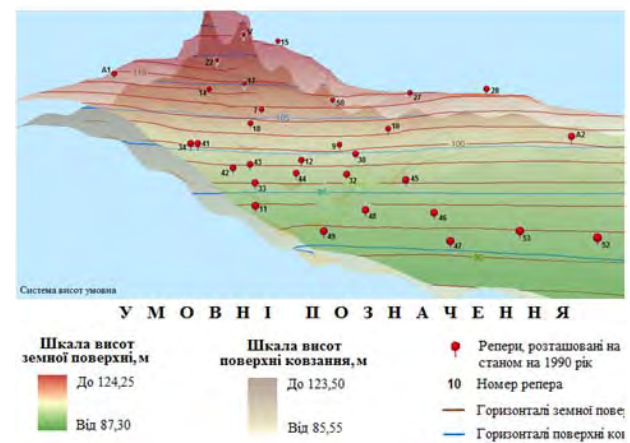


Рис. 9. Картографічна модель зсуву території

Fig. 9. Cartographic model of change of landslide territory

Для перевірки достовірності цієї картографічної моделі ми використали матеріали інженерно-геологічних вишукувань щодо глибини залягання поверхні ковзання. За нашими дослідженнями глибина залягання поверхні ковзання на цій поверхні була від 1,2 до 3,0 м. За результатами інженерно-геологічних вишукувань (4 свердловини) глибина поверхні ковзання зсуву відрізнялась до 0,47 м. Такі результати підтверджують достовірність нашої моделі, а, особливо, глибини залягання поверхні ковзання. Отже, за результатами геодезичних вимірювань можна створювати картографічні моделі зсуву, які будуть економічно вигідніші, ніж за результатами інженерно-геологічних вишукувань.

Отже, ми розробили методику побудови картографічної моделі динаміки зсуво-небезпечних територій за геодезичними спостереженнями, яка може використовуватись під час дослідження геодинамічних процесів, а саме: горизонтальних та вертикальних рухів земної поверхні, процесів у відкритих гірничих

розробок, утворення карстових форм рельєфу, розвитку процесів підтоплення територій, моделювання наслідків меліорації земель тощо. На основі картографічного методу дослідження і створених моделей можна детально оцінити явище або процес з прогнозом його впливу та інженерним захистом об'єктів і споруд на досліджуваній території.

Наукова новизна

Наукова новизна полягає в тому, що створення картографічних моделей територій з активними зсувними процесами за даними геодезичних спостережень на основі експериментального-картографічного моделювання дасть можливість дослідити зсувне тіло у просторі і часі, а з урахуванням якісних характеристик (інженерні ґрунти, ґрунтові води, рослинність тощо) – і з ґносеологічних позицій.

Висновки

Розроблено методику побудови картографічної моделі зсувної території на основі геодезичних спостережень за допомогою експериментально-картографічного моделювання, яка відображає динаміку, напрямок та характер зсуву на ділянці з активними зсувонебезпечними процесами і встановлює глибину залягання поверхні ковзання.

Моделі такого типу будуть придатними для вивчення геолого-геоморфологічних явищ та процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Кузнецов А. И. Разработка метода определения поверхности скольжения оползня по данным геодезического мониторинга: автореф. дис. канд. тех. наук: 25.00.32 / Кузнецов Александр Игоревич; Московский государственный университет геодезии и картографии. – М., 2013. – 25 с.
- Кучериб Н. А. Определение поверхности скольжения оползня по геодезическим наблюдениям / Н. А. Кучериб, П. Г. Черныга, Г. И. Лебедь // Геодезия и картография. – 1981. – № 2. – С. 22–23.
- Миколенко Л. Особливості методики застосування даних ДЗЗ в системах моніторингу зсувонебезпечних територій / Л. Миколенко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – К., 2010. – С. 46–49.
- Степчук В. М. Выявление и картографирование оползней в Тернопольской области [Электронный ресурс] / В. М. Степчук, М. В. Аристов, Р. А. Спица // Геопрофиль. – 2009. – № 3. – С. 26–32. – Режим доступа: http://www.internetgeo.ru/uploads/journals/geoprofile0309/ternopol_opolzni.pdf. – Загл. с экрана.
- Стефанишина Ю. Д. Оцінка ризиків зсувів: задачі досліджень та шляхи їх вирішення / Ю. Д. Стефанишина, Д. В. Стефанишин // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія “Технічні науки”. Гідротехніка. – Р., 2010. – № 2(50). – С. 78–84.
- Телятник А. А. Комплексное изучение и прогнозирование оползней / А. А. Телятник. – К.: Віпол, 1993. – 51 с.
- Терещук О. Сучасні супутникові технології у дослідженні геодинамічних процесів / О. Терещук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л., 2009. – Вип. 72. – С. 49–53.
- Тер-Степанян Г. И. Геодезические методы изучения динамики оползней / Г. И. Тер-Степанян. – М.: Недра, 1972. – 135 с.
- Ткаченко Г. І. Фізико-математична модель утворення поверхні зсуву в зовнішніх відвалах залізрудних кар'єрів / Г. І. Ткаченко // Вісник криворізького технічного університету. – К., 2011. – № 27. – С. 3–7.
- Фріндт М. Методика використання ГІС для оцінки факторів впливу на утворення зсувів автомобільної дороги Сімферополь / М. Фріндт // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – К., 2010. – Вип. 51. – С. 41–44.
- Gili J. A. Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring [Electronic resource] // J. Gili, J. Corominas, J. Rius // Engineering Geology, February 2000. – Vol. 55, Issue 3. – P. 167–192. – Available at: http://www2.etcg.upc.es/asg/talussos/pdfs/gili/Tema09-Opcional-Gili_et_al_Eng.Geol_GPS_.pdf
- Molinari M.E. r.massmov: an open-source landslide model for dynamic early warning systems [Electronic resource] / M. Molinari, M. Cannata, C. Meisina // Natural Hazards, January 2014. – Vol. 70, Issue 2, – P. 1153–1179. – Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-013-0867-8>
- Mora P. Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta landslide (northern Apennines, Italy) [Electronic resource] / P. Baldi, G. Casula, M. Fabris, M. Ghirotti, Mazzini E., Pesci A. // Engineering Geology, February 2003. – Vol. 68, Issues 1–2. – P. 103–121. – Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S013795202002004>.

П. Г. ЧЕРНЯГА¹, В. И. НИКУЛИШИН², М. А. ПРЬИМАК³, Т. В. БЛЭЯНЮК⁴

^{1, 2, 4} Кафедра картографії та геопросторового моделювання, Національний університет «Львівська політехніка», ул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013, тел.+38(032)2580748.

³ Государственное предприятие «Рівненське державне науково-виробниче підприємство геодезії та кадастру» (ДНВП «Рівнегеокадастр»), вул. 16 Липня, 38, Рівне, Україна, 33028

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО ДАННЫМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Цель. Целью данной статьи является разработка методических положений и практических рекомендаций по экспериментально-картографическому моделированию динамики активной оползневой территории на основе серийных геодезических измерений на ней. Это позволит более подробно изучить природу и состояние сдвига в геопространственной среде. **Методика.** На основе серийных результатов геодезических наблюдений за оползнем нами предложена методика создания картографических моделей, а именно: 3D-модель территории с нанесением векторов направления движения оползня, модель смещения земной поверхности и на основе таких моделей и их модификации определять поверхность скольжения оползня. Такая методика дает возможность создать комплексную картографическую модель оценки состояния оползневого тела. **Результаты.** Получено картографическую модель оползнеопасной территории. Для проверки достоверности данной картографической модели нами были использованы материалы инженерно-геологических изысканий по глубине залегания поверхности скольжения. По нашим исследованиям глубина залегания поверхности скольжения на данной поверхности была от 1,2 до 3,0 м. По результатам инженерно-геологических изысканий (4 скважины) глубина поверхности скольжения оползня отличалась до 0,47 м. Такие результаты подтверждают достоверность нашей модели, а, особенно, глубины залегания поверхности скольжения. **Научная новизна** заключается в том, что создание картографических моделей территорий с активными оползневыми процессами с помощью экспериментально-картографического моделирования на основе геодезических измерений является новой проблемой, которая позволит исследовать оползневое тело в пространстве и времени, а с учетом качественных характеристик (инженерные почвы, грунтовые воды, растительность и т.д.) – с гносеологической точки зрения. **Практическая значимость.** Используя методику создания картографической модели смещения земной поверхности в пространстве и времени с использованием количественных и качественных показателей наблюдений, можно выполнить в комплексе с инженерно-геологическими, геоморфологическими, гидрогеологическими, метеорологическими и другими исследованиями достаточную оценку состояния оползневого тела на любой территории с будущим прогнозом. Такие исследования имеют комплексный и систематический подходы по снижению угроз, которые несут оползни.

Ключевые слова: экспериментально-картографическая модель; оползень; поверхность скольжения; векторы смещений; 3D-модель

Р. Н. CHERNYAHА¹, V. I. NIKULISHYN², M. A. PRYYMAK³, T. V. BLEYANYUK⁴

^{1, 2, 4} Department. Of Cartography and Geospatial modeling, Lviv Polytechnic National University, S. Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013, Tel. +38 (032) 2580748.

³ State enterprise «Rivne State Research and Production Enterprise of Geodesy and Cadastre» (SSPE «Rivnegeocadastre»), July str., 16, 38, Rivne, Ukraine, 33028

EXPERIMENTAL CARTOGRAPHIC MODELING OF DYNAMICS OF LANDSLIDES AREAS ACCORDING TO GEODESIC OBSERVATIONS

Aim. The aim of the paper is the development of methodological positions and practical recommendations concerning experimental and cartographic modeling of dynamics of active landslide area on the basis of serial geodesic measuring on it. This approach will allow examine more in detail the nature and status of landslides in the geospatial environment. **Methodology.** On the basis of serial results of the geodesic observations a landslide it is offered the methodology of creation of cartographic models, namely: 3D-model of territory with causing of landslide movement direction, model of displacement of earth surface and, on the basis of such models and their modification

to determine the surface of slip displacement. Such methodology gives an opportunity to create the comprehensive cartographic model of estimation of the state of landslide body. **Results.** It is received the cartographic model of landslides area. For verification of assurance of this cartographic model were used materials of the engineer-geological pioneering concerning the depth of slip surface. According to our researches the depth of the slip surface on this surface was from 1,2 to 3,0 m. According to results of the engineer-geological pioneering (4 cleft) the depth of the surface of slip displacement differed to 0.47 m. Such results confirm the assurance of our model, and, especially, the depth of slip surface. **Scientific novelty** consists in the fact that the creation of cartographic models of territories with the active processes of landslide by means of experimental cartographic modeling on the basis of the geodesic measuring is a new problem, which will give an opportunity to investigate the landslide body in space and time, and taking into account quality descriptions (engineering soils, ground water, vegetation, etc.) – and epistemological point of view. **Practical significance.** Using methodology of creation of cartographic model of shift the earth's surface in space and time using quantitative and qualitative indicators of observations, it is possible to execute in a complex with engineer-geological, geomorphological, geohydrology, meteorological and other researches the sufficient estimation of status of the landslide body on any territory with a future prognosis. Such researches have complex and systematic approaches in relation to the decline of threats posed by landslides.

Key words: experimental cartographic model; landslide; slip surface; landslide movement direction; 3D model

REFERENCES

- Kuznecov A. I. Razrabotka metoda opredelenija poverhnosti skol'zhenija opolznja po dannym geodezicheskogo monitoringa: avtoref. dis. kand. teh. Nauk [Development of the method for determining the slip surface of a landslide according to geodetic monitoring: Author. dis.] Moscow, 2013, 25 p.
- Kutseryb N.A., Cherniaha P.H., Lebed H.Y. Opredelenie poverhnosti skol'zhenija opolznja po geodezicheskim nabljudenijam [Determination of the sliding surface of the landslide on geodetic observations], Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]. Lviv, 1981, No 2, pp. 22–23.
- Mykolenko L. Osoblyvosti metodyky zastosuvannia danykh DZZ v systemakh monitorynhu zsvonebezpechnykh terytorii [Features of the method of application of remote sensing data in the monitoring system of landslide-prone areas], Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia. [Bulletin of Kyiv National Taras Shevchenko University. Geology]. Kyiv, 2010, pp. 46–49.
- Stepchuk V.M., Arystov M.V., Spytca R.A. Vyjavlenie i kartografirovanie opolznej v Ternopol'skoj oblasti [Identify and kartohrafirovanye landslides in the region Ternopolskoy]. Geoprofil'. Kyiv, 2009, No 3, pp. 26–32. Available at: http://www.internetgeo.ru/uploads/journals/geoprofile0309/ternopol_opolzni.pdf. (Accessed 13 February 2014).
- Stefanyshyna Iu. D., Stefanyshyn D. V. Otsinka ryzykiv zsvuv: zadachi doslidzhen ta shliakhy yikh vyrishennia [Risk assessment of landslides: research problems and their solutions], Visnyk Natsionalnogo universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Serii "Tekhnichni nauky". Hidrotekhnika. [Journal of National University of Water Management and Nature. Series "Engineering". Hydraulic engineering.]. Rivne, 2010, No 2(50), pp. 78–84.
- Teliatnyk A.A. Kompleksnoe izuchenie i prognozirovanie opolznej [Comprehensive study and prediction of landslides]. Kiev, Vipol, 1993, 51 p.
- Tereshchuk O. Suchasni sputnykovi tekhnolohii u doslidzhenni heodynamichnykh protsesiv [Modern satellite technology to study geodynamic processes], Heodeziia, kartohrafiia i aefofotoznimannia [Geodesy, cartography and aerophotography]. Lviv, 2009, Issue 72, pp. 49–53.
- Ter-Stepanian H.Y. Geodezicheskie metody izuchenija dinamiki opolznej [Geodetic techniques to study the dynamics of landslides.]. Moscow, Nedra Publ., 1972, 135 p.
- Tkachenko H.I. Fyzyko-matematychna model utvorennia poverkhni zsvuvu v zovnishnikh vidvalakh zalizorudnykh kar'ieriv [Physical and mathematical model of the surface displacement in external dumps iron ore quarries], Visnyk kryvorizkoho tekhnichnogo universytetu [Journal of Krivoy Rog Technical University]. Krivoy Rog, 2011, No 27, pp. 3–7.
- Frindt M. Metodyky vykorystannia HIS dlia otsinky faktoriv vplyvu na utvorennia zsvuv avtomobilnoi dorohy Simferopol [Methods of using GIS to assess factors influencing the formation of landslides highway

- Simferopol], Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Neolohiia. [Bulletin of Kyiv National Taras Shevchenko University. Geology.]. Kyiv, 2010, Issue 51, pp. 41–44.
- Gili J. A., Corominas J., Rius J. Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring [Electronic resource]. *Engineering Geology*. February 2000, Vol. 55, Issue 3, pp. 167–192. Available at: http://www2.etcg.upc.es/asg/talussos/pdfs/gili/Tema09-Opcional-Gili_et_al_Eng.Geol_GPS_.pdf
- Molinari M. E., Cannata M., Meisina C. An open-source landslide model for dynamic early warning systems [Electronic resource]. *Natural Hazards*. – January 2014, Vol. 70, Issue 2, pp. 1153–1179. Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-013-0867-8>
- Mora P. Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta landslide (northern Apennines, Italy) [Electronic resource]. P. Baldi, G. Casula, M. Fabris, M. Ghirotti, Mazzini E., Pesci A. *Engineering Geology*. February 2003, Vol. 68, Issues 1–2, pp. 103–121. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795202002004>

Надійшла 13.02.2014 р.