



МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Рассматривается сущность методического подхода и механизма отображения деформированного состояния земной поверхности с помощью тематических картографических моделей. В основу подхода положен критерий систематизации территорий за показателями деформации в рамках линейно-однородной модели. Проанализировано соответствие конечного картографического продукта общепринятым свойствам тематических карт. Особое внимание уделено условиям абстрагирования показателей геодинамических явлений, для чего определены факторы и формы их генерализации. Приведены некоторые результаты апробации использованного методического подхода.

The methodical approach and mechanism of mapping of stress-deformed state of the Earth surface by means of thematic cartographic models are considered. As a basis of the approach the criterion of systematization of areas according to deformation indices within the linear-and-uniform model is taken. Accordance of the final cartographic product with generally accepted features of thematic maps is analyzed. Particular attention is given to conditions of indices abstraction of geodynamic appearances, for which purpose factors and forms of their selection are defined. Some results of testing of applied methodical approach are shown.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями. Важливим завданням тематичного картографування є створення карт, картосхем та інших картографічних моделей природних явищ. Розуміння поняття "тематичні карти" як моделі навколишнього середовища дозволяє вважати предметом наукових досліджень картографічне відображення не лише розташування об'єктів природи, а також їх властивостей, взаємозв'язків та динаміки. Суттєвим елементом змісту тематичних картографічних моделей стало відображення змін та просторово-часового розподілу кількісних і якісних ознак об'єктів та явищ природи. Це зумовлено не лише розширенням пізнавальних можливостей картографічних моделей, а й практичними потребами їх застосування при плануванні заходів з охорони природи та для оцінювання ризиків з метою гарантування безпеки життєдіяльності. Тому неабиякий практичний та науковий інтерес становить відображення за допомогою різних картографічних моделей геодинамічних процесів, передусім на територіях з їх активними проявами та розвитком.

Особливим об'єктом тематичного картографування є земельні ресурси. Кадастрові карти територій, як різновид тематичних карт, складаються за результатами різнобічного моніторингу та кадастрового оцінювання земель. Останнім часом надзвичайний інтерес дослідників до створення різних картографічних моделей, які відображують кількісні та якісні характеристики об'єктів Державного земельного кадастру, зокрема земель, обтяжених активними геодинамічними процесами. Необхідність створення, організаційні засади й основні вимоги до змісту таких моделей регламентує "Порядок здійснення природно-сільськогосподарського, еколого-економічного, протиерозійного та інших видів районування (зонування) земель" [17]. При відображенні даних еколого-економічного характеру за критерієм рівня перетворення природного середовища, його стійкості до антропоген-

ного навантаження та ступеня податливості території до негативних геологічних процесів є потреба у створенні відповідних карт (схем) таких територій.

Аналіз досліджень та невирішені частини загальної проблеми. Питання картографування природних умов, явищ та заходів з охорони природи, безсумнівно, актуальне. Загалом як складова частина тематичного картографування воно є предметом досліджень не лише окремих науковців, а й цілих колективів наукових та галузевих установ (див. праці [6, 7] та ін.).

У частині відображення за допомогою картографічних моделей кількісних показників сучасних рухів земної поверхні (або, згідно з [18], небезпечних геологічних процесів) проблема вирішується здебільшого шляхом побудови карт (схем) векторів або ізоліній рівних значень зміщень земної поверхні, а також їх швидкостей та градієнтів, які визначені з повторних спостережень за положеннями пунктів планових та висотних геодезичних мереж. Створення такого роду картографічних матеріалів було започатковано саме з метою відображення сучасних вертикальних рухів земної поверхні. Так, керуючись рекомендаціями фахівців Центрального науково-дослідного інституту геодезії, аерознімання та картографії ГУГК СРСР ([19], а згодом [2]), а також окремих науковців (див. праці [16, 20]), створювались карти вертикальних рухів земної поверхні як у межах окремих геодинамічних полігонів, так і великих регіонів [8-11]. Такі часткові рішення проблеми обумовлені виключно фактором наявності вихідних даних про висотні геодезичні мережі.

У міру накопичення результатів повторних спостережень у планових мережах стало можливим створення карт векторів горизонтальних зміщень їх пунктів (а також швидкостей зміщень та відповідних градієнтів). Деякі аспекти внутрішнього змісту та інформативності карт сучасних рухів земної поверхні розкрито у праці [13]. Створювані на той час картографічні моделі явища були достатньо інформативні та наочні, однак вони не відображували його фізичної сутності. Адже для оціню-



вання ризиків та безпеки життєдіяльності важливо, щоб моделі наочно відображали показники напружено-деформованого стану земної поверхні. Лише такі моделі здатні забезпечити встановлення ступеня ризиків і дати змогу своєчасно запланувати заходи захисту земель, територій та розташовані на них інфраструктури.

Саме тому для наочної передачі деформованого стану земної поверхні ще інструкцією [2] передбачалось створення картосхем розподілу параметрів лінійних горизонтальних деформацій, визначених за геодезичними даними методом скінченних елементів [4]. Такі картосхеми спочатку створювались для окремих територій локального масштабу, наприклад, геодинамічних полігонів, де накопичувались дані повторних спостережень за плановими мережами. Згодом завдяки активному розвитку та запровадженню в геодезичне виробництво сучасних технологій глобальних навігаційних супутникових систем і створення мереж перманентних супутникових станцій відкрились перспективи відображення картосхемами деформацій регіонального масштабу. Можливості застосування даних супутникових спостережень для вирішення проблемних досліджень з цього напрямку заслуговують на увагу праці [14, 15, 23].

Відображення геодинамічних процесів картосхемами деформацій земної поверхні є ієрархічно вищим шаблоном досліджень у розрізі поставленої проблеми. Такі картографічні матеріали мають чітку математичну основу в частині відображення просторового розподілу характеристик деформації ізолініями (деколи сумісно з покриттям зображення тим чи іншим площинним графічним засобом) та системою геометричних умовних знаків у вигляді масштабних векторів розтягу і стиснення. Виходячи з цього, відображення цілком відповідають умовам метричності, однозначності та неперервності картографічних моделей, однак не завжди адекватні й не повною мірою задовольняють деякі інші загальноприйняті умови. Зокрема: 1) *змістова відповідність* (науково обґрунтоване відображення головних особливостей дійсності з врахуванням генезису, внутрішньої та зовнішньої структури, ієрархії); 2) *просторово-часова подібність* (в частині відображення стану об'єкта, підпорядкованості, зв'язків та подібності співвідношень його складових); 3) *абстрактність* (перехід від індивідуальних ознак об'єкта до загальних, відбір його типових характеристик та вибраковування другорядних); 4) *вибірковість та синтетичність* (здатність виділяти й представляти окремо ті властивості об'єкта і його складових, які проявляються одночасно або, навпаки, нероздільно відображати частини, які реалізуються ізольовано) [1]. Недотримання перелічених умов порушує реалізацію відповідних їм гносеологічних властивостей картографічної моделі.

Невідповідність умов відображення таких властивостей явища визначає фактор неврахування

особливостей структури та походження вихідних геодезичних даних при їх опрацюванні обраним методом обчислення параметрів деформації. У ході практичного втілення методу це викликає порушення його теоретичної основи. Наразі параметри деформації земної поверхні визначаються методом скінченних елементів у рамках лінійної (здебільшого симплексної) моделі деформації нерозривного середовища [4, 5]. Можна виокремити такі причини виникнення невідповідностей [21]: 1) дискретна структура і безсистемне, з погляду лінійної теорії деформації, розташування геодезичних пунктів, що має наслідком відсутність однозначного принципу і, отже, умовний поділ території на симплекси чи будь-які інші моделі скінченних елементів; 2) невідповідність довільно утворених скінченних елементів теоретичній основі методу, а значить необґрунтованість застосування в таких умовах лінійної моделі деформації. Застосування цієї моделі передбачає істинність гіпотези локально-однорідної лінійної деформації. Таку гіпотезу потрібно підтвердити, тоді констатована невідповідність втрачає смисл і умова задовольняється, або її відхилити. У цьому випадку опрацювання вихідних даних класичним методом скінченних елементів дає формальні кінцеві результати. Перевірка гіпотези локально-однорідної деформації у межах скінченних елементів на практиці не здійснюється; 3) ігнорування неминучих похибок вихідних геодезичних даних і відсутність можливостей проведення оцінювання точності й надійності результатів їх опрацювання методом скінченних елементів. Така обставина унеможливає перевірку достовірності кінцевого результату. Усі три перелічені обставини, реалізовані одночасно, за граничних умов спричинюють створення картографічної псевдомоделі явища зі спотвореними гносеологічними властивостями.

Постановка завдання. Виходячи з такого стану вирішення поставленої проблеми та з урахуванням неврегульованості підходів до створення тематичних картографічних моделей, які відображують деформований стан земної поверхні, і визначено *мету* нашого дослідження: вироблення та апробація єдиного методичного підходу й механізму відтворення явища такими моделями.

Виклад основного матеріалу дослідження. Головна причина низького рівня достовірності та не об'єктивного опису і картографічного відображення деформованого стану земної поверхні за геодезичними даними криється в нехтуванні теоретичною основою методу скінченних елементів у рамках лінійної моделі деформації єдиного середовища. Ефективне вирішення такого завдання може бути досягнуте виключно дотриманням умов обраної моделі в ході практичного втілення методу. Для цього на початковій стадії опрацювання вихідних геодезичних даних необхідно впровадити чіткий механізм перевірки даних на їх відповідність умовам лінійно-однорідної моделі. Тоді за результатами перевірки може бути здійснений



поділ території на скінченні елементи з метою наступної кускової лінійної апроксимації зміщень поверхні та обчислення параметрів горизонтальних деформацій у їх межах.

Визначившись з критеріями перевірки виділених умов, на першій стадії опрацювання вихідних даних поділ території на скінченні елементи має здійснюватись за результатами практичного застосування цих критеріїв. Вбачаються такі ймовірні різновиди скінченних елементів.

1. *Вибір скінченними елементами поверхні симплексів*, для яких зміщення вершин задовольняють умови лінійної моделі. Тоді кінцевий результат досягається аналітичним рішенням задачі у межах окремих симплексів шляхом лінійної апроксимації у рамках класичного методу скінченних елементів [4, 5].

2. *Вибір інших правильних геометричних форм скінченних елементів* (наприклад, чотирикутників, як це реалізовано авторами праці [14]). За такого підходу теж можна здійснити аналітичне рішення задачі, але компоненти тензора і відповідні йому параметри деформації встановлюються апроксимацією функцій будь-яких можливих аналітичних форм, які визначає число вершин елемента, з наступною їх лінеаризацією.

Обидва рішення дають змогу в підсумку описати лінійні деформації земної поверхні в межах окремих скінченних елементів. Обчислені параметри деформації при цьому відносяться до центрів ваги елементів. Відображення одержаних результатів реалізовується схарактеризованими вище картографічними розподілу параметрів деформації з тою лиш різницею, що за окреслених підходів вони відображатимуть реальну інформацію про лінійні деформації земної поверхні.

3. *Вибір скінченних елементів поверхні довільних, неправильних, але замкнених геометричних форм*. Число вершин і точок внутрішнього простору таких елементів необмежене, однак їх зміщення повинні задовольняти умови лінійної моделі деформації згідно з визначеними критеріями. Такий вибір скінченних елементів забезпечує наявність надлишкових вимірних величин, тому рішення досягається емпіричним шляхом. Компонентами тензора деформації є коефіцієнти емпіричної формули, встановлені апроксимацією лінійної функції за одержаним дискретним розподілом зміщень точок у межах виділеного скінченного елемента. Для виведення формули доцільно використати спосіб найменших квадратів. Останній, крім обчислення коефіцієнтів емпіричної формули, забезпечує також надійне оцінювання точності кінцевих результатів рішення, враховуючи при цьому похибки вихідних геодезичних даних. Тим самим оцінюється достовірність параметрів деформації земної поверхні у межах скінченного елемента.

Останнє рішення видається перспективнішим порівняно з попередніми з огляду на кілька особливостей. Зокрема: 1) здійснюючи поділ території на скінченні елементи, забезпечується її систематизація за показниками зміщень поверхні на блоки

– області досліджуваної території з однорідною лінійною деформацією. Така систематизація не обтяжена умовою вибору геометричних форм скінченних елементів; 2) відповідає необхідності в інтерполюванні значень параметрів деформації між центрами ваги скінченних елементів з метою побудови ізоліній їх рівних значень. Інтерполювання може здійснюватись лише для встановлення точних меж однорідних областей при їх зображенні на картах заданого масштабу. Важливо, що в такому випадку задача інтерполювання розв'язується за вихідними даними, а не за кінцевим результатом рішення, чим також підвищується достовірність представлення досліджуваного явища; 3) за такого підходу результат рішення забезпечений строгим оцінюванням його точності.

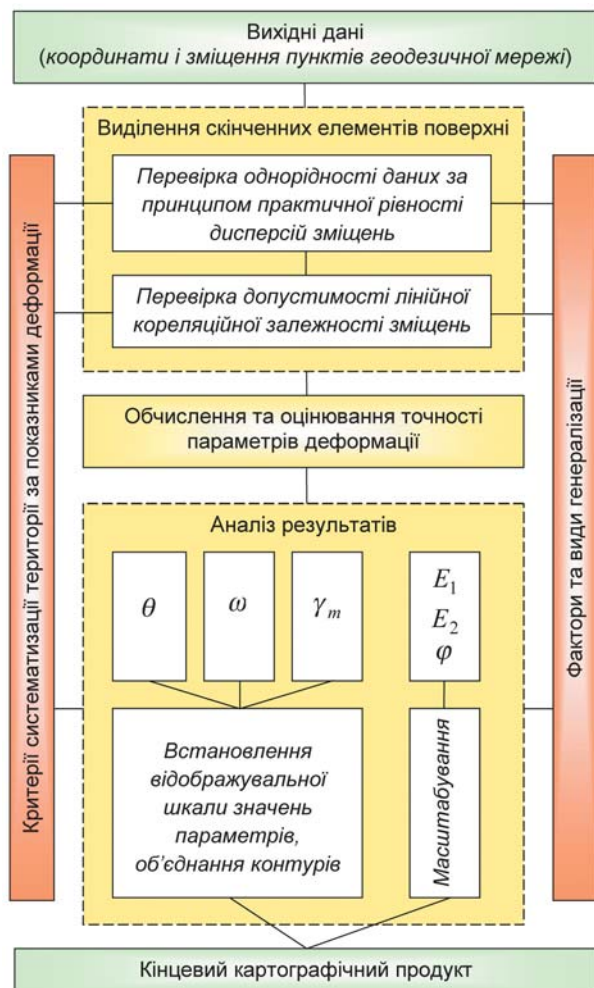
Детальне обґрунтування, алгоритм вирішення завдання за останнього підходу та деякі попередні результати його апробації розкрито у статті [22]. Тут же пропонуються критерії перевірки умов лінійної моделі деформації. Перевірка дворівнева: 1) перевірка однорідності даних за принципом практичної рівності дисперсій зміщень пунктів попарним їх порівнянням за критерієм Фішера. Пунктами, зміщення яких відповідає умові критерію, формуються скінченні елементи. Поділ території на скінченні елементи неоднозначний. Це визначає зміна радіуса усереднення дисперсій зміщень та рівень значимості критерію Фішера; 2) перевірка допустимості лінійної кореляційної залежності зміщень пунктів, віднесених до окремих скінченних елементів. Її встановлює мінімально допустиме значення оцінки коефіцієнта кореляції за прийнятним рівнем значимості. Послідовне застосування обох критеріїв шляхом відбору пунктів, які разом задовольняють їх умови, забезпечує поділ території на скінченні елементи і відповідну її систематизацію.

Покладемо запропонований підхід в основу вироблення механізму відображення горизонтальних деформацій земної поверхні на картографічних матеріалах відповідного тематичного спрямування. Якщо розглядати такі матеріали з позицій теорії пізнання, то їх слід ідентифікувати як різновид просторових, математично визначених та генералізованих образно-знакових картографічних моделей геодинамічних явищ. Вони є засобом пізнання просторово-часової структури та динаміки явища і взаємозв'язків його складових частин. Навіть попередній аналіз окресленого підходу і відповідного рішення показує, що за умови прийняття його методичною основою відображення явища одержаному в підсумку картографічному продукту будуть притаманні всі властивості, якими він має бути наділений згідно з вимогами тематичного картографування [1].

Важливо, що результати абстрагування не є єдино визначеними, а можуть регулюватись змінними параметрами критеріїв перевірки умов лінійної моделі деформації. Ними ж змінюється ступінь деталізації відображення явища. У зв'язку з цим власти-



вість абстрактності створюваної картографічної моделі потребує детальної інтерпретації. Беручи до уваги спільність методичного підходу до систематизації територій, обтяжених геодинамічними процесами (згідно з [22]), і до їх картографування (з позицій абстрактності відображення), ці процеси слід розглядати у взаємозв'язку. Такі взаємозв'язки, а також стадії побудови картографічної моделі ілюструє мал. 1.



Мал. 1. Взаємозв'язки факторів і видів генералізації та критеріїв систематизації території в процесі побудови картографічної моделі деформацій земної поверхні

Карта деформацій земної поверхні повинна містити ті найважливіші елементи, які відображують особливості просторово-часового розподілу параметрів деформації у рамках обраної теоретичної моделі та відповідного методичного підходу. Абстрагування явища досягається генералізацією факторів, які зумовлюють призначення картографічного продукту як носія інформації про деформований стан земної поверхні.

Максимальну точність відображення явища значною мірою визначає фактор його вивченості. Це залежить від густоти розташування пунктів повторних геодезичних спостережень, репрезен-

тативності вихідних даних, їх кількості та відповідності умовам теоретичної моделі. За перших двох обставин фактор апостеріорно змінюватись не може, тому він генералізації не підлягає. До того ж, при недостатній репрезентативності даних завдання їх опрацювання навіть не ставиться. Щоб забезпечити об'єктивне відображення явища наявними вихідними даними, мають бути прийняті до уваги останні дві обставини. Загалом набір вихідних даних визначає максимальну подібність відображення явища у межах скінченного елемента поверхні пов'язана з відповідністю їх зміщень умовам лінійно-однорідної моделі і є наслідком перевірки цих умов. З цієї точки зору останні обставини можуть зумовлювати результати генералізації, які унеможливають відображення явища у рамках обраної моделі: окремі скінченні елементи можуть містити число пунктів, за якого виведення лінійної емпіричної формули неможливе або зміщення пунктів несумісні з умовами моделі. У першому випадку такі скінченні елементи однозначно вибраковуються, в другому з метою забезпечення неперервності відображення у їх межах допускається обчислення параметрів лінійної деформації, але з умовою зазначення такого факту в легенді карти та з обов'язковою характеристикою точності параметрів.

Масштаб як фактор генералізації важливий лише при створенні карт з метою їх відповідності загальноприйнятим умовам метричності. Його загалом визначає просторовий діапазон явища. Він призначений забезпечити належне візуальне сприйняття та оглядовість карти.

Ключовим фактором генералізації є особливості розподілу параметрів деформації поверхні. Він підлягає абстрагуванню як на стадії первинного опрацювання вихідних даних (особливості просторового розподілу зміщень є визначальними при виділенні скінченних елементів поверхні), так і на завершальній стадії створення картографічної моделі, зокрема, при аналізі обчислених параметрів деформації з метою їх відображення на картах.

На завершальній стадії процес абстрагування тісно пов'язаний з умовами забезпечення властивостей вибірковості та синтетичності моделі. Рекомендується [22] поділити всі параметри деформації на дві групи, віднісши до першої дилатацію θ , обертання ділянки поверхні у межах скінченного елемента ω та зсув γ_m , до другої – розтяг E_1 , стиснення E_2 та напрям головної осі деформації ϕ . Тоді сутність генералізації на завершальній стадії (як і забезпечення властивостей вибірковості та синтетичності) зводиться до вибору параметрів, які необхідно відобразити залежно від значущості та просторового розподілу набутих ними числових значень при окремій реалізації геодинамічного явища. Так, для відображення на кінцевому картографічному продукті може бути обраний один з параметрів першої групи, який набув явно вираже-



ного спектра значень поміж однорідних областей у порівнянні з іншими параметрами. Перевагу варто віддавати параметрам θ або ω . Зсув γ_m є похідним від E_1 і E_2 , тому його відобразити не обов'язково. Щодо параметрів другої групи, то за потреби їх можна відобразити окремою картографічною моделлю або сумісно з обраним параметром першої групи.

На цій стадії як фактор генералізації розглядаємо також способи графічного оформлення кінцевого картографічного продукту (в т. ч. типові способи зображення об'єктів та явищ). Він визначає наочність та візуальне сприйняття елементів карти. Для оптимального вираження цих властивостей доцільно використати такі способи: 1) *спосіб лінійних значків* – при відображенні меж однорідних областей; 2) *спосіб кількісного фону* – при відображенні кількісних відмінностей обраного параметру першої групи поміж однорідними областями. При цьому застосовуємо засоби генералізації об'єктів площинної локалізації. Їх суть зводиться до введення кількісних градацій значень параметра і відображення виявлених відмінностей шляхом покриття областей одним з площинних графічних засобів (наприклад, фонове забарвлення чи штрихування), який співвідносний із встановленою градацією і регламентується легендою карти у формі шкали; 3) *спосіб геометричних значків*, розміри яких змінюються за введеною шкалою або масштабом – при сумісному відображенні параметрів другої групи у формі масштабованих двосторонніх напрямних векторів або еліпса спотворень.

Розглянемо стадії створення кінцевого картографічного продукту з точки зору видів генералізації, які пов'язані з абстрагуванням відображуваного явища.

На початковій стадії (виділення скінченних елементів поверхні) застосовуються два види генералізації. *Узагальнення кількісних показників* явища полягає в укрупненні кількісних градацій зміщень геодезичних пунктів віднесенням останніх до скінченних елементів поверхні (областей однорідних деформацій). Цей вид генералізації реалізується зміною радіуса усереднення дисперсій та рівнів значимості критеріїв перевірки умов лінійної моделі деформації, розкритими вище. Цим же реалізується і такий вид генералізації, як *відбір (виключення) кількісних показників* явища з точки зору відображення його характерних особливостей та призначення карти. Він зводиться до узагальнення цих показників за допомогою цензів і норм.

Цензом відбору як обмежувальної процедури, що визначає сутність відображуваних на карті складових частин явища, є встановлення рівнів значимості згаданих уже критеріїв. Вони визначають достовірність поділу поверхні на скінченні елементи. Норму відбору можна тлумачити двома. З одного боку, це показник, який характеризує середнє значення збереження при генералізації складових частин явища. Тоді нормою відбору є радіус усереднення дисперсій зміщень як домі-

нуючий (порівняно з цензом) чинник відбору, який визначає скінченні елементи і середні значення зміщень та їх дисперсій у відповідних однорідних областях. За такого підходу норма відбору регулює навантаження карти. З іншого боку, нормою, як показником міри відбору, є мінімальне допустиме значення кількості пунктів у однорідній області (чотири), яких достатньо для апроксимації лінійної функції за їх зміщеннями одночасно з оцінюванням точності та надійності кінцевого результату, а також зведені показники відповідності зміщень пунктів умовам лінійної моделі. В обох випадках норма відбору разом із цензом регулює ступінь деталізації та достовірності систематизації території та її відображення картографічною моделлю. Узагальнення і відбір (виключення) кількісних показників явища застосовуються до генералізації факторів його вивченості та особливостей просторового розподілу.

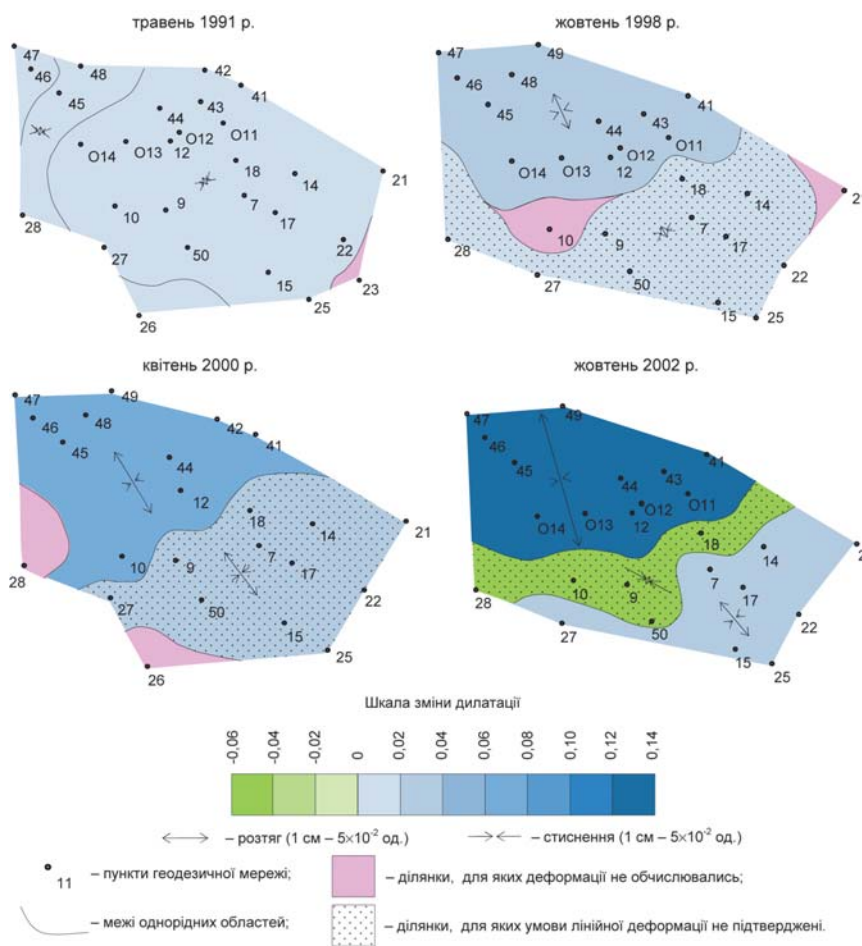
На завершальній стадії створення картографічного продукту проводимо суміщення контурів – геометричний вид генералізації, пов'язаний з їх групуванням. Контури (межі однорідних областей) об'єднуються узагальненням кількісних показників параметрів деформацій областей з метою їх відображення адекватно до встановленої шкали легенди або об'єднання кількох дрібних областей з близькими за абсолютними значеннями параметрами деформації в одну укрупнену.

Описаний методичний підхід та механізм відтворення геодинамічних явищ відповідними картографічними моделями апробовано на матеріалах повторних спостережень спеціальної мережі геодезичних пунктів, закладеної з метою визначення зміщень зсуву земної поверхні та розміщеного на ній трубопроводу. Ділянка поверхні, окреслена пунктами мережі, займає площу близько 4 га і розташована у межах Карпатського геодинамічного полігона на 262-му кілометрі траси магістрального нафтопроводу Броди – Ужгород у Свалявському районі Закарпатської області. Загалом у різні періоди спостереженнями було охоплено близько 30-ти геодезичних пунктів. З різних причин (здебільшого сезонного характеру, наприклад, відсутності видимості чи неможливості ідентифікації пунктів унаслідок густого трав'яного чи товстого снігового покриву) на окремих пунктах спостереження проводились несистемно. Крім того, деякі пункти, розташовані в зонах критичних деформацій поверхні, були знищені. Тому загальна кількість пунктів спостережень змінювалась. Максимальні зміщення окремих пунктів за період від закладення мережі у 1976 р. до припинення спостережень у 2002 р. сягають понад 10 м. З-поміж 127-ми серій повторних спостережень до опрацювання прийнято результати кількох найбільш показових серій, які охоплюють періоди активізації зсуву. У таблицю зведено остаточні результати опрацювання даних, а на мал. 2 зображено схематичні карти розподілу параметрів деформації земної поверхні станом на вказані дати спостережень.



Результати опрацювання вихідних геодезичних даних

Дата	Номер області	Кількість пунктів	Оцінка коефіцієнта лінійної кореляції		Параметри деформації та їх середні квадратичні похибки					
			емпірична	допустима	θ	E_1	E_2	γ_m	φ°	ω°
1991 р., травень	1	23	-0,63	$\pm 0,53$	0,002 $\pm 0,002$	0,004 $\pm 0,001$	-0,002 $\pm 0,002$	0,007 $\pm 0,002$	322,7 $\pm 9,9$	0,03 $\pm 0,00$
	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	4	-0,99	$\pm 0,99$	0,006 $\pm 0,006$	0,014 $\pm 0,003$	-0,008 $\pm 0,005$	0,022 $\pm 0,006$	10,1 $\pm 9,2$	-0,64 $\pm 0,00$
1998 р., жовтень	1	13	-0,97	$\pm 0,68$	0,038 $\pm 0,020$	0,043 $\pm 0,016$	-0,005 $\pm 0,011$	0,048 $\pm 0,018$	336,2 $\pm 12,1$	-0,56 $\pm 0,01$
	2	11	-0,52	$\pm 0,73$	0,010 $\pm 0,008$	0,019 $\pm 0,006$	-0,010 $\pm 0,004$	0,029 $\pm 0,006$	330,1 $\pm 7,9$	-0,65 $\pm 0,00$
	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-
2000 р., квітень	1	10	-0,97	$\pm 0,77$	0,061 $\pm 0,043$	0,074 $\pm 0,030$	-0,013 $\pm 0,026$	0,087 $\pm 0,037$	329,4 $\pm 14,2$	-0,31 $\pm 0,02$
	2	11	-0,51	$\pm 0,74$	0,038 $\pm 0,022$	0,058 $\pm 0,018$	-0,020 $\pm 0,013$	0,078 $\pm 0,022$	322,6 $\pm 8,1$	-0,84 $\pm 0,01$
	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-
2002 р., жовтень	1	12	-0,89	$\pm 0,71$	0,131 $\pm 0,057$	0,137 $\pm 0,048$	-0,006 $\pm 0,021$	0,143 $\pm 0,049$	344,1 $\pm 10,0$	-0,84 $\pm 0,02$
	2	8	-0,91	$\pm 0,83$	0,037 $\pm 0,025$	0,049 $\pm 0,022$	-0,013 $\pm 0,016$	0,062 $\pm 0,030$	320,5 $\pm 11,8$	-1,17 $\pm 0,02$
	3	4	-	-	-0,049 $\pm 0,030$	0,001 $\pm 0,012$	-0,050 $\pm 0,022$	0,050 $\pm 0,019$	28,7 $\pm 16,1$	3,12 $\pm 0,01$
	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-



Мал. 2. Схематичні карти деформацій земної поверхні на різні дати

Зміщення пунктів розраховувались відносно дати початкової серії спостережень, тому параметри деформації представлені у порядку накопичення. Не вдаючись до подробиць опрацювання та аналізу даних (вони в деталях описані у статті [22]), за-

значимо лише, що генералізація результатів оцінювання деформованого стану поверхні й відповідних зображень здійснена за таких значень змінних параметрів (цензів і норм відбору): радіус усереднення дисперсій $R=60$ м; рівень значимості критерію Фішера $Q=5\%$; рівень значимості двостороннього критерію допустимості оцінки коефіцієнта кореляції $2Q=1\%$. З параметрів деформації першої групи (з метою відображення їх на схематичних картах) обрано дилатацію. Це зумовлено більшим (порівняно з іншими параметрами) діапазоном змін та помітною різницею значень поміж областями однорідних деформацій. Параметри деформації, віднесені до другої групи, зображено масштабованими двосторонніми напрямними векторами.

Висновки. Описаний методичний підхід та механізм реалізації дають змогу об'єктивно відображати деформований стан земної поверхні одним з різновидів тематичної картографічної моделі – картою, картосхемою, схематичною картою або (у перспективі) цифровою картою. Такі моделі наділені властивостями просторово-часової подібності (за умови відображення деформацій протягом визначеного періоду або у розрахунку на одиницю часу), змістової відповідності, абстрактності, вибіркості й синтетичності, метричності (за винятком схематичних карт), однозначності (у межах окремого зображення), неперервності, наочності, достатніх



рівнів візуального сприйняття, оглядовості та інформативності. Це посвідчується вибірковими попередніми результатами апробації запропонованої методики та відповідними відображеннями деформованого стану земної поверхні на схематичних картах.

Беручи до уваги здатність виділяти структурні відношення у рамках обраної теми картографічної моделі, одержаний за використаного підходу картографічний продукт, як носій інформації за цією темою, можна вважати "картою рішень" [3]. Адже кінцевий продукт є результатом рішення поставленого завдання або ключем до завершення процесу прийняття рішень з поставленої проблеми.

Рішення у межах окресленого підходу полягає у систематизації деформованих територій із заданим ступенем узагальнення (деталізації). По суті, така систематизація – це математичне моделювання геодинамічного явища, яке полягає у вираженні деформацій земної поверхні та яке прийнято називати районуванням території. З цієї точки зору одержаний кінцевий картографічний продукт можна визнати синтетичною інвентаризаційною картою рішень.

Література

1. Берлянт, А.М. Справочник по картографии / А.М. Берлянт, А.В. Гедымин, Ю.Г. Кельнер [и др.]; под ред. Е.И. Халукина. – М.: Недра, 1988. – 428 с.
2. *Геодезические* методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах (Методическое руководство). – М.: ЦНИИГАиК, 1985. – 113 с.
3. ДеМерс, Майкл Н. Географические информационные системы. Основы / Майкл Н. ДеМерс.; пер. с англ. – М.: Дата+, 1999. – 489 с.
4. Есиков, Н.П. Тектонофизические аспекты анализа современных движений земной поверхности / Н.П. Есиков. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1979. – 173 с.
5. Есиков, Н.П. Современные движения земной поверхности с позиций теории деформации / Н.П. Есиков. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1991. – 226 с.
6. Заруцкая, И.М. Картографирование природных условий и ресурсов / И.М. Заруцкая, Н.В. Красильникова. – М.: Недра, 1988. – 300 с.
7. Золовский, А.П. Картографические исследования проблемы охраны природы / А.П. Золовский, Е.Е. Маркова, Г.О. Пархоменко. – К.: Наук. думка, 1978. – 152 с.
8. *Карта* градиентов скоростей вертикальных движений вдоль линий повторного нивелирования Восточной Европы. Масштаб 1:2 500 000. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993.
9. *Карта* современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. Масштаб 1:10 000 000. – М.: ГУГК, 1971-1973.
10. *Карта* современных вертикальных движений земной коры на территории Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР (Европейская часть), Чехословакии. Масштаб 1:10 000 000. – М.: ГУГК, 1986.
11. *Карта* современных вертикальных движений земной коры на территории СССР. Масштаб 1:2 500 000. – М.: ГУГК, 1986.
12. Кафтан, В.И. Графическое представление результатов определения движений и деформаций земной поверхности средствами глобальных навигационных спутниковых систем / В.И. Кафтан, Р.И. Красноперов, П.П. Юровский // *Геодез. и картогр.* – 2010. – № 11. – С. 2-7.
13. Кафтан, В.И. *Карты* современных движений земной коры: содержание и информативность / В.И. Кафтан // *Физика Земли.* – 1996. – № 1. – С. 48-61.
14. Марченко, О.М. Дослідження гравітаційного поля, топографії океану та рухів земної кори в регіоні Антарктики / О.М. Марченко, К.Р. Третяк, А.Я. Кульчицький [та ін.]. – Л.: Львів. політехніка, 2012. – 308 с.
15. Марченко, О.М. Поле лінійних швидкостей та рухи земної кори у регіоні Південно-Східної Європи / О.М. Марченко, К.Р. Третяк, Н.П. Ярема [та ін.] // *Геодинаміка.* – 2012. – № 2. – С. 18-27.
16. Мещеряков, Г.А. Применение метода коллокации для построения карт современных вертикальных движений земной коры (на примере о. Сахалин) / Г.А. Мещеряков, В.А. Скрыль // *Современные движения земной коры.* – Кишинев: Штиинца, 1982. – С. 88-90.
17. Никонов, А.А. Проблемы изучения и картографирования современных вертикальных движений земной коры / А.А. Никонов // *Современная тектоническая активность Земли и ее сейсмичность.* – М.: Наука, 1987. – С. 49-66.
18. *Порядок* здійснення природно-сільськогосподарського, еколого-економічного, протиерозійного та інших видів районування (зонування) земель / Пост. Кабінету Міністрів України від 26 трав. 2004 р. № 681. – Реж. доступу: www.zakon2.rada.gov.ua/laws/show/681-2004-p.
19. *Про* охорону земель / Закон України від 19.06.2003 р. № 962-IV. – Реж. доступу: www.zakon4.rada.gov.ua/laws/show/962-15.
20. *Руководящий* технический материал по составлению карт современных вертикальных движений земной коры на территорию СССР по геодезическим данным. – М.: ОНТИ ЦНИИГАиК, 1978. – 21 с.
21. Тадеєва, О.О. Достовірність результатів опрацювання геодезичних даних методом скінченних елементів / О.О. Тадеєва, О.А. Тадеєв, П.Г. Черняга // *Геодинаміка.* – 2012. – № 2. – С. 28-33.
22. Тадеєва, О.О. Систематизація територій за показниками деформації земної поверхні / О.О. Тадеєва // *Геодезія, картографія і аерофотознімання.* – 2013. – № 77. – С. 127-134.
23. Третяк, К. Зв'язок між горизонтальними деформаціями земної поверхні та сейсмічною активністю Центральної Європи / К. Третяк, О. Серант, О. Смірнова // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.* – 2008. – Вип. 1. – С. 74-81.

Надійшла 14.01.14