

Смірнова О.М.

НУ “Львівська політехніка”, кафедра інженерної геодезії і кадастру

**ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ІНФОРМАТИВНОСТІ КАРТ
ГРАДІЄНТІВ ШВИДКОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНИХ РУХІВ ЗЕМНОЇ
ПОВЕРХНІ НА ПРИКЛАДІ КАРТ РІЗНИХ РЕГІОНІВ**

© Смірнова О.М., 2000

В статье рассмотрена оптимизация карт градиентов вертикальных движений земной поверхности горных регионов Крыма, Карпат и равнинного европейского региона. Исследуется оптимальное соотношение между информативной загруженностью карты и ее информативностью. На основании анализа и сравнения карт даны выводы и рекомендации.

The optimisation of the vertical movement gradient maps of Carpathian and Crimean mountains regions and European plain region are considered in this article. The optimal ratio of informative density of a map and its informativity are explored. The final conclusion and recommendations are made a basis of the analysis.

Поява нових центрів сейсмологічної активності призвела до підсилення сучасних деформаційних рухів земної поверхні на Альпійському поясі, які охоплюють весь континент. Проводяться інтенсивні геодезичні роботи і витрачаються великі кошти на спостереження. Для дослідження сучасних рухів земної поверхні на території Європи створена суцільна мережа геодинамічних полігонів, на території яких ведеться постійне спостереження за просторовим положенням контрольних пунктів. Завдяки GPS стає можливим постійне знімання висот контрольних пунктів. Тобто геодезичний метод дослідження рухів земної поверхні стає найефективнішим при отриманні реальних даних і є безпосередньо прямим методом спостереження за деформаціями. Результати спостережень показують у вигляді карт та планів сучасних рухів земної поверхні. Це карти багатогалузевого використання, тому вони мають бути складені так, щоби бути зрозумілими для користувача, тобто, аналізуючи ці карти можна було швидко отримати вторинну інформацію, необхідну для розв'язання певних інженерних задач, не втративши важливої вихідної інформації. Співвідношення між інформативністю карти та її завантаженістю має бути оптимальним.

Підходи до визначення поняття інформативності [3,4,5] та завантаженості [3,4,5] карт є дуже різноманітними, є дуже багато робіт про оптимізацію картографічного зображення [3,4], але якихось загальних критеріїв немає. Одні автори під картографічною інформацією розуміють зміст карти, відомості, які вона містить та отримані по ній, кількість умовних позначок, вірогідність появи того чи іншого знака, спосіб графічної передачі тематичного змісту, пов'язують її з територіальною диференціацією, інші – прирівнюють її до суми графічних елементів, які сприймають сенсорні системи людини.

Шеннон К. у роботі “Математическая теория связи” (1969) вперше зв'язав інформацію зі зменшенням невизначеності і запропонував для оцінки її кількості ентропійну міру. Але в ряді критичних зауважень (Саліщев К.А., Берлянт А.М., Робинсон А, Печенік Б., Гуелке Л., Мазур М. та інші) підкреслювалось, що шеннонівська формула ентропії не містить самого поняття “інформація” і не дає змоги визначити “кількість інформації” або “інформативність карти”. Отже, аналізуючи карти, використовують не стільки теорію інформації з її понятійним апаратом, скільки саму логарифмічну функцію ентропії [3].

Запропоновано під інформативністю карти розуміти кількість точок, для яких визначено швидкості деформацій, а під інформативним завантаженням карти – кількість знаків на одиниці площі досліджуваних карт. Для оптимізації картографічних зображень карт градієнтів швидкостей вертикальних рухів земної поверхні запропоновано скористатися логарифмічною функцією ентропії.

Були складені карти градієнтів швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні Кримського півострова, за матеріалами високоточних нівелювань 1946-1991 рр. виявлено ряд недоліків [1]. По-перше, мережа високоточних нівелювань є дуже нерівномірною (рис. 1), тому поле річних швидкостей реперів залежить від накопичених похибок в нівелірних ходах. По-друге, відстані між постійними реперами та їх стійкість є неспіввимірними, тому

і точність проведення ізоліній швидкостей на карті не завжди співвимірні з точністю визначення річних швидкостей руху реперів.

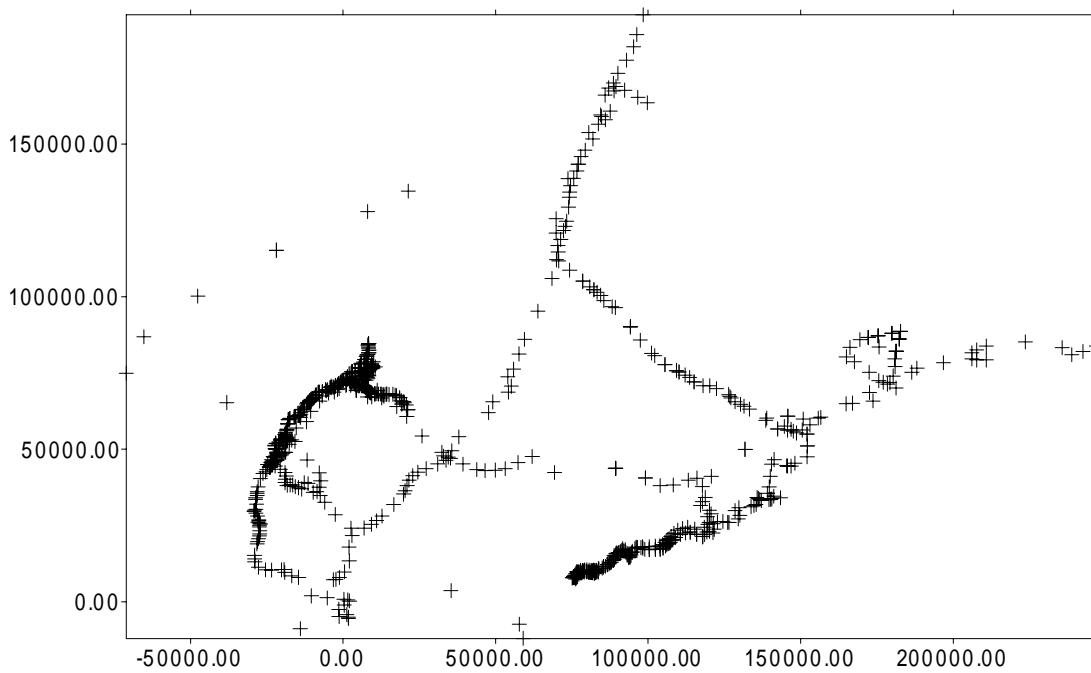


Рис.1. Мережа високоточних нівелювань Кримського півострова

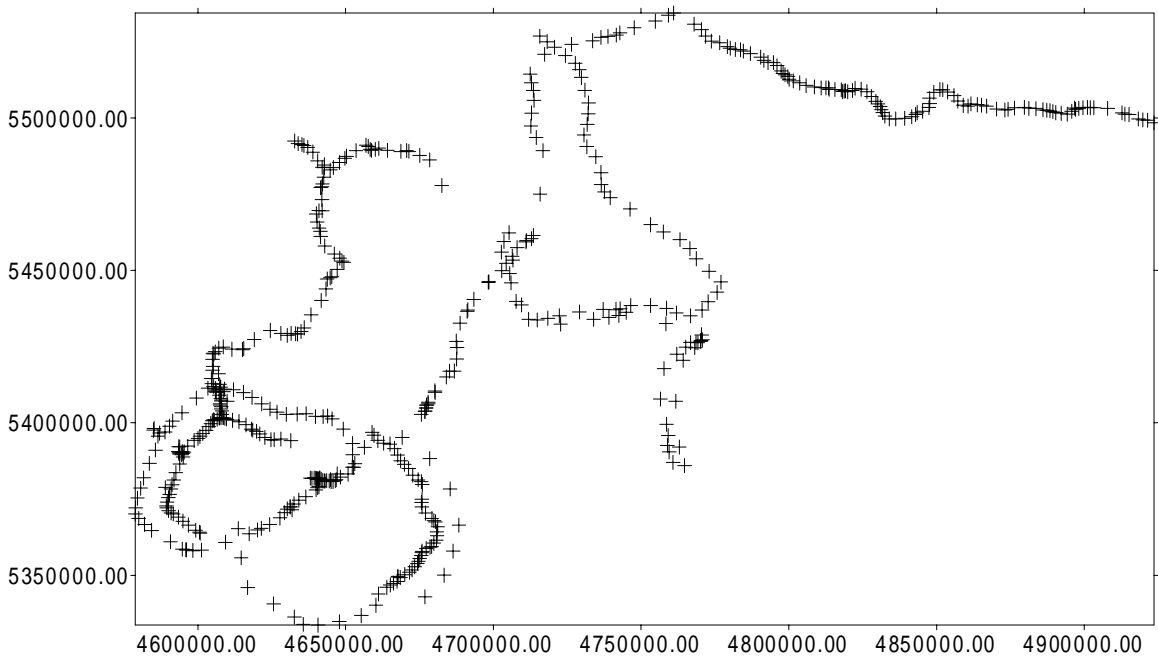


Рис.2. Мережа високоточних нівелювань Карпатського регіону

Для дослідження поля деформацій Кримського півострова було вибрано шість моделей, для Карпатського регіону – сім (табл.1). В масштабі 1:15000 побудовано деформаційні поля для заданих моделей. Крок перетину ізолініями на всіх моделях є постійним і дорівнює $5 \cdot 10^{-8}$ (рис. 4 – 17).

В табл. 1 вказані параметри бази даних – кількість точок, використаних для побудови, та екстремальні значення баз даних моделей різної інформативності.

Таблиця 1

Порівняння екстремальних значень градієнтів швидкостей вертикальних деформацій бази даних карт ГШВДЗП залежно від їх інформативності для Кримського та Карпатського регіонів

<i>K-сть n-тів</i>		<i>i</i>	<i>max</i>		<i>min</i>	
<i>Крим</i>	<i>Карпати</i>		<i>Крим</i>	<i>Карпати</i>	<i>Крим</i>	<i>Карпати</i>
900	533	100%	$2.3 \cdot 10^{-5}$	$3.7 \cdot 10^{-5}$	$-2.0 \cdot 10^{-5}$	$-2.8 \cdot 10^{-5}$
855	510	95%	$8.2 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{-6}$	$-6.5 \cdot 10^{-6}$	$-9.8 \cdot 10^{-7}$
799	483	90%	$4.1 \cdot 10^{-6}$	$7.4 \cdot 10^{-7}$	$-3.1 \cdot 10^{-6}$	$-5.8 \cdot 10^{-7}$
754	456	85%	$2.9 \cdot 10^{-6}$	$4.9 \cdot 10^{-7}$	$-1.8 \cdot 10^{-6}$	$-4.1 \cdot 10^{-7}$
709	429	80%	$2.3 \cdot 10^{-6}$	$3.5 \cdot 10^{-7}$	$-1.3 \cdot 10^{-6}$	$-3.3 \cdot 10^{-7}$
674	401	75%	$1.7 \cdot 10^{-6}$	$2.8 \cdot 10^{-7}$	$-1.1 \cdot 10^{-6}$	$-2.6 \cdot 10^{-7}$
629	388	70%	$1.3 \cdot 10^{-6}$	$2.1 \cdot 10^{-7}$	$-8.2 \cdot 10^{-7}$	$-2.0 \cdot 10^{-7}$

Аналіз матеріалів високоточних нівелювань на територію іншої сеймотектонічної зони України – Карпатської (рис. 2) приводить до тих самих висновків. У зв'язку з цим, для підвищення точності, інформативності та достовірності відображення динаміки земної поверхні застосовано методику складання карт градієнтів вертикальних деформацій земної кори [1].

Обчислені швидкості деформацій знаходяться в межах:

- для Кримського півострова від $-2000 \cdot 10^{-8}$ до $+2000 \cdot 10^{-8}$ м/м·рік або рік⁻¹;
- для Карпатського регіону від $-3000 \cdot 10^{-8}$ до $+3000 \cdot 10^{-8}$ рік⁻¹.

За результатами обчислень побудовано карти ГШВДЗП для території Кримського п-ова (S=27 тис.кв.км), для території Карпат (S= 35 тис.кв.км). Оскільки карта ГШВДЗП повинна показувати повільні зміни земної поверхні, які виникають в результаті деформаційних навантажень в земній корі під дією ендегенних тектонічних факторів, то і деформаційне поле повинно бути достатньо згладжене, тому результати обчислень градієнтів швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні, які призводили до різкої зміни деформаційного поля, ми вважали хибними і аномальними, викликаними нестійкістю реперів або антропогенним впливом (1 % від загальної кількості обчислень). Виникає запитання, чи вплив всіх факторів, які не мають зв'язку з глибинними ендегенними процесами, був відсіяний, чи привело це до значної втрати інформативності карти, і яке має бути оптимальне співвідношення між інформативністю карти та її інформативним навантаженням.

Використання всієї інформації призводить до інформативного перевантаження карти. Особливо це помітно в місцях екстремумів (max, min) – густина ізоліній на цих ділянках настільки висока, що вони майже зливаються одна з одною, перетворюючись на суцільні плями. Настає так зване перевантаження карти. Позбавитись цього можна, збільшуючи крок інтерполяції, але при цьому значно зменшується інформативність карти на ділянках з середніми інформаційними параметрами (рис. 3). Побудуємо статистичні гістограми розподілу швидкостей деформацій для досліджуваних територій (рис. 3). На них приблизна площа ділянки, в якій зосереджені швидкості деформацій, що обмежені за величинами певним інтервалом, прямо пропорційна кількості інтерполяційних точок на одній ділянці.

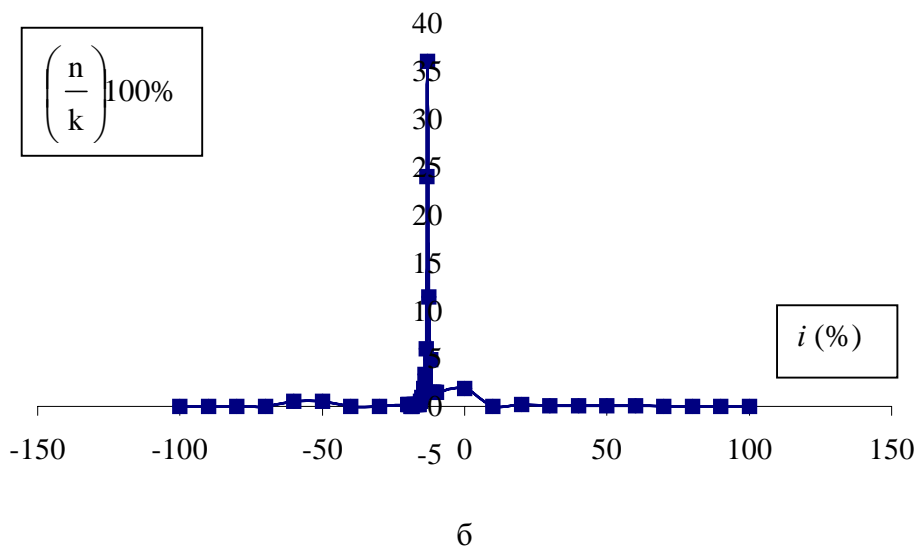
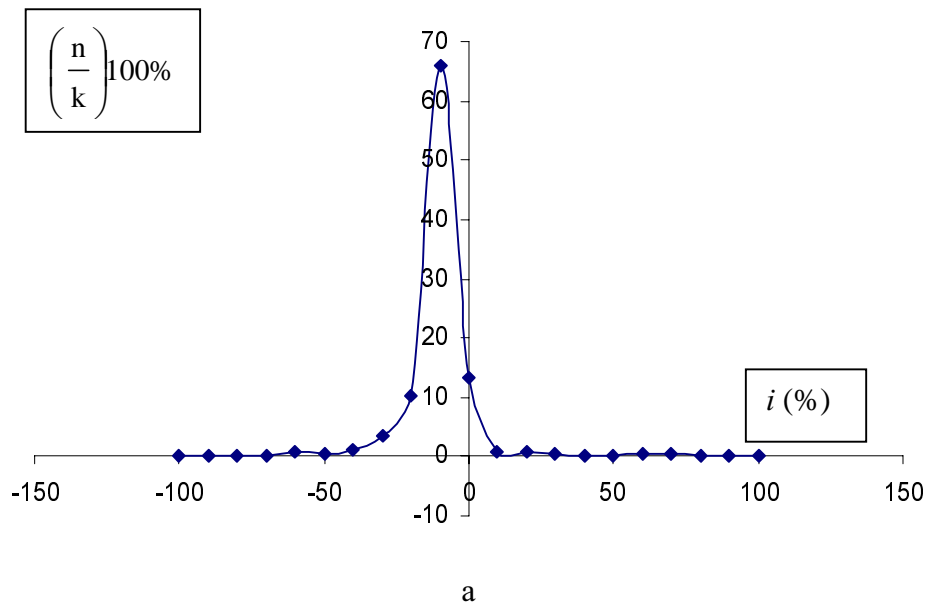


Рис.3. Порівняння статистичних гістограм досліджуваних територій:
а) статистична гістограма розподілу градієнтів швидкостей (ГШ) на території Кримського півострова; б) статистична гістограма розподілу ГШ на території Карпат.

Де n – кількість точок баз даних різної інформативності;

$k = 900$ – кількість точок повної ($i = 100\%$) бази даних для території Кримського півострова;

$k = 335$ – кількість точок повної бази даних на території Карпат;

$\left(\frac{n}{k}\right) * 100$ – процентне співвідношення баз даних різної інформативності до бази даних $i = 100\%$.

Аналіз статистичних гістограм показав, що на більшій частині досліджуваної території зосереджені швидкості деформацій, близькі до середніх значень. Щоб уникнути значної втрати інформативності картографічних зображень на ділянках з середніми картографічними

параметрами при зменшенні завантаження карт ізолініями, запропоновано [1] фільтрування екстремумів швидкостей деформацій в базі вихідних точок. При цьому суттєво: не втратити важливу вихідну інформацію, правильно встановити природу виникнення того чи іншого екстремуму деформацій, визначитись, до якої міри відфільтровувати базу даних і знайти критерії оцінки корисної інформації та її зв'язку з завантаженням картографічного зображення.

Скористаємось узагальненим критерієм багатofакторного впливу, що базується на інформативному підході [1]. На спрощених моделях поля деформацій, зміни якого обмежені впливом двох або декількох факторів, досягнемо оптимального співвідношення між впливом цих факторів на кінцеве поле деформацій.

Спробуємо знайти оптимальне співвідношення між інформативністю карти та завантаженням її ізолініями, залишаючи крок ізоліній протягом досліджень сталим [1].

За критерій інформативності карти приймемо функцію, подібну до функції узагальненого критерію оптимізації

$$I = \frac{\sum \ln S_j}{i}, \quad (2)$$

де $\ln S_j$ – логарифм площі, обмеженої сусідніми горизонталями; i – процентне співвідношення кількості точок, які використані для побудови поля деформацій, до всієї кількості точок з обчисленими значеннями деформацій.

Логарифмічна функція надає безмірність коефіцієнту I та незалежність від деформаційного поля, що дає можливість порівнювати інформативність різних карт ГШВДЗП. Розрахована інформативність карт залежно від завантаженості та побудовані графіки зміни інформаційного деформаційного поля I залежно від значення коефіцієнта i для всієї території Кримського півострова та Карпатського регіону [1].

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів I , i залежно від інформативності бази даних карти градієнтів швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні і Кримського півострова

i	100%	95%	90%	85%	80%	75%
I	9,01429	8,02093	7,20727	6,67357	7,17114	7,27437

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів I , i залежно від інформативності бази даних карти градієнтів швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні і Карпатського регіону

i	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%
I	39,68150	10,85000	8,68868	6,79708	6,92760	7,18523	8,10905

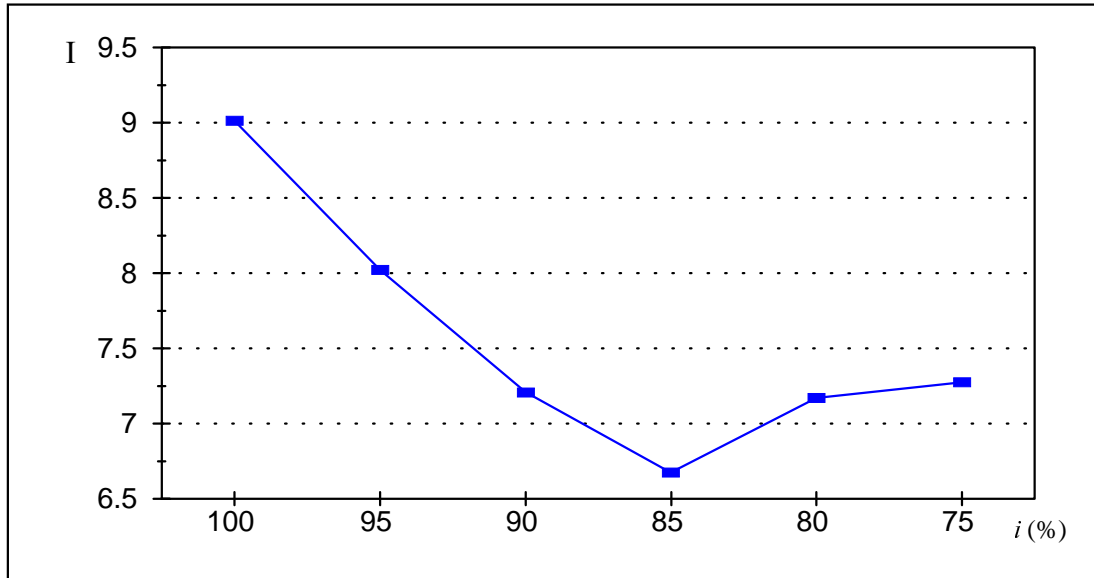


Рис.3. Графік зміни інформаційного деформаційного поля I залежно від значення коефіцієнта i для усїєї території Кримського півострова.
Мінімум функції відповідає значенню $i = 85$ %

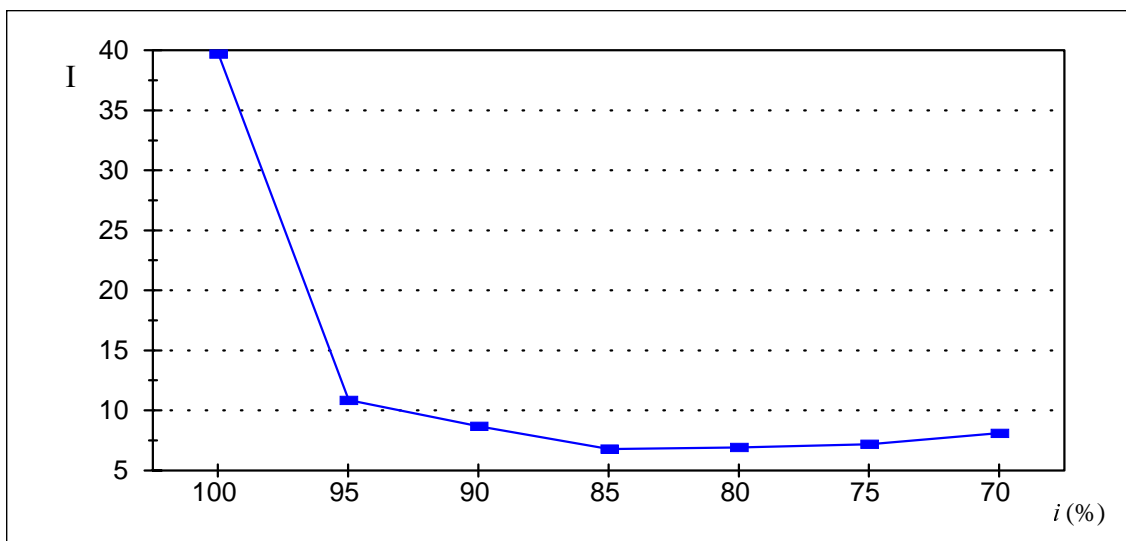


Рис.4. Графік зміни інформаційного деформаційного поля I залежно від значення коефіцієнта i для усїєї території Карпатського регіону

З аналізу порівняння результатів залежності коефіцієнта інформативності I карт ГШВДЗП від завантаження їх інформацією i сейсмоактивних зон Кримського і Карпатського регіонів видно, що I_{\min} відповідає значення $i \approx 85\%$. В цьому випадку карта не перевантажена ізолініями і водночас зберігає всю важливу інформацію.

Виникає запитання, чи закономірне це твердження при побудові карт ГШВДЗП для сейсмостабільних районів.

Склавши карту швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні на європейську територію (загальною площею 120 тис.кв.км) за аналогією [1] дослідимо залежність інформативного навантаження карти від зміни її інформативності.

Висотні реперы європейської території – стійкі, розміщені рівномірно.

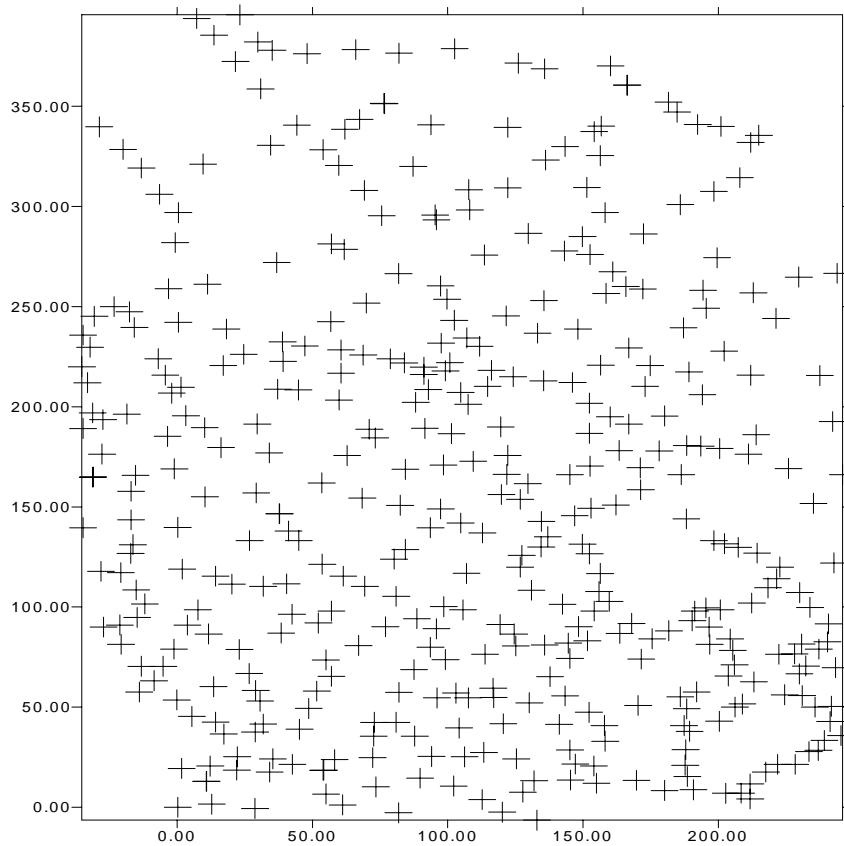


Рис.5. Схема розміщення висотних реперів на європейській території

Обчислені швидкості деформацій знаходяться в межах від $-6,5 \times 10^{-8}$ до $+4,0 \times 10^{-8}$ м/мрік або рік⁻¹.

Таблиця 4

Екстремальні значення градієнтів швидкостей вертикальних деформацій бази даних карт ГШВДЗП залежно від їх інформативності для європейського регіону

<i>K-сть n-тів</i>	<i>i</i>	<i>max</i>	<i>min</i>
417	100%	$5.2 \cdot 10^{-8}$	$-6.6 \cdot 10^{-8}$
397	95%	$2.6 \cdot 10^{-8}$	$-4.6 \cdot 10^{-8}$
377	90%	$1.8 \cdot 10^{-8}$	$-4.0 \cdot 10^{-8}$
357	85%	$1.4 \cdot 10^{-8}$	$-3.8 \cdot 10^{-8}$
337	80%	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$-3.4 \cdot 10^{-8}$
317	75%	$0.7 \cdot 10^{-8}$	$-3.1 \cdot 10^{-8}$
297	70%	$0.5 \cdot 10^{-8}$	$-3.0 \cdot 10^{-8}$

Аналіз статистичних гістограм показав, що характер розподілу градієнтів швидкостей деформацій має менш виражений характер, ніж в гірській місцевості [2].

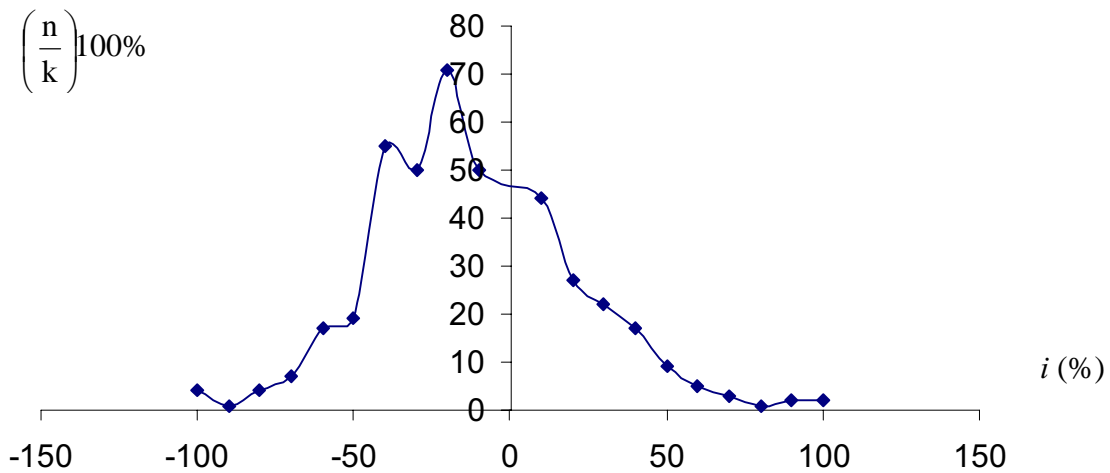


Рис.6. Статистична гістограма розподілу ГШ на європейській території.

Де n – кількість пунктів бази даних різної інформативності;

$k = 417$ – загальна кількість пунктів повної ($i = 100\%$) бази даних;

$\left(\frac{n}{k}\right)100$ – процентне співвідношення бази даних різної інформативності до бази даних $i = 100\%$.

Для дослідження поля деформацій побудовані карти різної інформативності ($i=100\%$, 97% , 95% , 94% , 92% , 90% , 85% , 80%) в масштабі $1:50000$. Крок перетину ізолініями на всіх моделях є сталим і дорівнює 5×10^{-9} .

Розрахована інформативність карт ГШВД земної поверхні європейської території залежно від її завантаженості і за результатами складений графік.

Таблиця 5

**Залежність коефіцієнта i від інформативності I карти ГШВД
поверхні Європи**

i (%)	100	97	95	94	92	90	85	80
I	1.62857	1.30894	1.21124	1.23635	1.26965	1.24474	1.11559	1.00379

Перший мінімум функції відповідає значенню $i = 95\%$. Далі значення коефіцієнта I зростає на короткому проміжку і після того, як інформативність набуває значення $i=92\%$, починає постійно спадати, тобто разом із зменшенням інформативності карти значно зменшується її завантаженість ізолініями. Тобто достатньо було відсіяти 5% інформації, щоби завантаженість карти ізолініями стала оптимальною, а після відсіювання 7% інформації експеримент втратив свій зміст (рис.7).

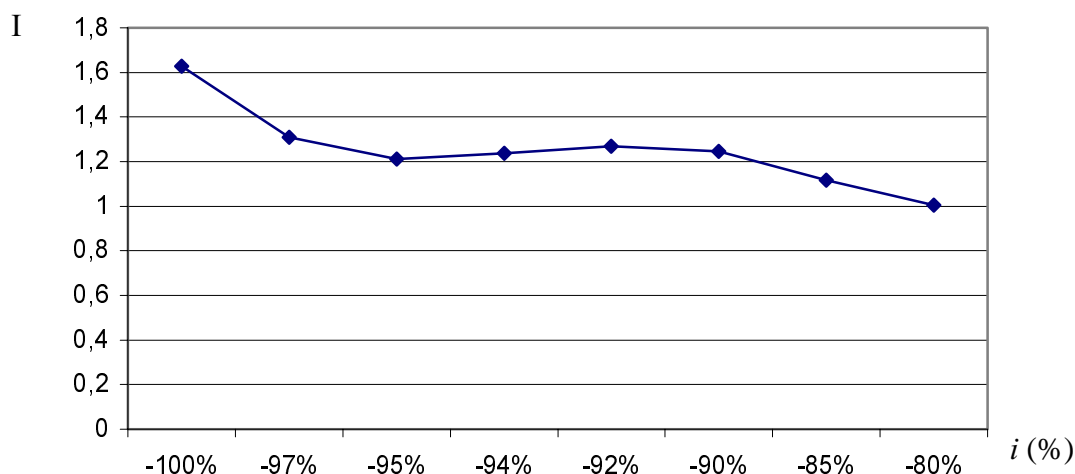


Рис.7. Графік зміни інформаційного поля I залежно від значення коефіцієнта i для європейської території

Порівняння та аналіз отриманих остаточних результатів при дослідженні карт рухів земної поверхні гірських регіонів Криму та Карпат [2] та рівнинної території Європи дали можливість твердити, що фільтрування баз даних в їх екстремальних значеннях дає змогу отримати економічний та геодезичний ефект при зображенні цих явищ в картографічній формі. В гірських сейсмоактивних районах Криму та Карпат на більшій території зосереджені пункти, значення градієнтів швидкостей вертикальних рухів земної поверхні яких близькі до середніх значень (з досліджень гістограми статистичного розподілу). Такі значення зумовлені нестійкістю реперів, антропогенним впливом людини. Графік зміни інформативного завантаження карти I залежно від зміни її інформативності i набуває екстремуму при $i = 85\%$. В сейсмостабільному європейському регіоні із статистичної гістограми видно, що значення ГШВДЗП розміщені більш рівномірно, тому і графік залежності набуває екстремуму при $i = 95\%$. Стає зрозумілим що в більш сейсмостабільних регіонах, де реperi стійкіші і немає постійних рухів земної поверхні, для оптимізації картографічних зображень немає потреби у такому процентному фільтруванні баз даних, як в гірських сейсмоактивних регіонах. Стає також помітною залежність процентного відфільтровування баз вихідних даних від гістограм статистичного розподілу цих даних. Запропоновано, щоби не виконувати громіздкі дослідження, визначати процент оптимального відфільтровування залежно від гістограм статистичного розподілу.

1. Третьяк К., Смірнова О. Оптимізація інформативності картографічного зображення вертикальних деформацій земної поверхні Кримського півострова // Зб. наук. пр. міжн. наук.-практ. конф. "Геодезичний моніторинг, геодинаміка і рефракція на межі XXI століття, Львів, 1999. С.160–170. 2. Смірнова О. Дослідження оптимальної інформативності карт вертикальних рухів і деформацій гірських регіонів // Зб. наук. доп. четвертого наук.-техн. симп. "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища-GPS і GIS- технології", Алушта, Крим – вересень 1999. С.87–94. 3. Берляндт А.М. Образ пространства: карта и информация. М., 1986. 4. Шеннон К. Математическая теория связи. В кн.: Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963. 5. Робинсон А. Исследования по оформлению карт // Сб. "Пути развития картографии". 1975. С.67–75.