

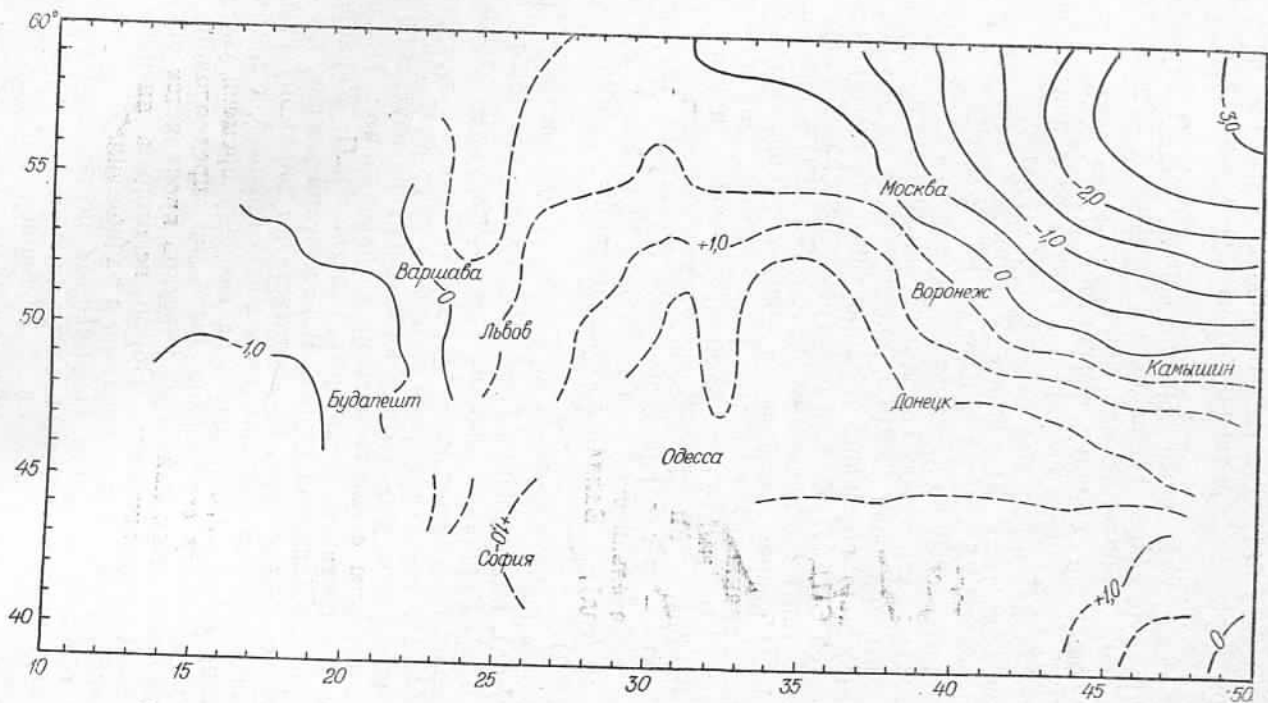


Рис. 3. Схематическая карта скоростей СВДЗП, осредненных по площадкам $2 \times 2^\circ$:
1 — изолинии отрицательных скоростей, мм/год; 2 — изолинии положительных скоростей, мм/год. — 1, — — — 2.

На настоящем этапе исследований можно сделать только общий вывод о том, что меньший порядок осреднения исходной информации о скоростях СВДЗП приводит к большей детализации структур менее глубокого заложения, скорости вертикальных движений которых представляют уже сумму многих процессов, происходящих на разных глубинах и имеющих разное по времени начало.

Главный вывод выполненных исследований состоит в том, что изменение статистической структуры поля СВДЗП в зависимости от степени сглаживания является индикатором масштабовности простиранья и глубины заложения геоморфоструктур, ответственных за современные движения земной поверхности.

Список литературы: 1. Артемьев М. Е. Изостатические аномалии, силы тяжести и некоторые вопросы их геологического истолкования. — М.: Наука, 1966. — 137 с. 2. Велюсов В. В. Основы геотектоники. — М.: Недра, 1975. — 247 с. 3. Бондарчук В. Г. Тектоника Кавказа. — К.: Изд-во АН УССР, 1962. — 233 с. 4. Борисов А. А. Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным. — М.: Недра, 1967. — 301 с. 5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1972. — 576 с. 6. Голандра Г. Я. Об изостатическом равновесии земной коры Украинского щита. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1972, № 10, с. 44—55. 7. Мещеряков Ю. А. Рельеф и современная геодинамика. — М.: Наука, 1981. — 277 с. 8. Карта скоростей современных движений земной коры Восточной Европы. — В кн.: Современные движения земной коры Тарту, 1973, № 5, с. 18—25. 9. Чекунов А. В. Структура земной коры и тектоника юга Европейской части СССР. — К.: Наук. думка, 1972. — 176 с.

Статья поступила в редакцию 30. 12. 84

УДК 551.24:528.2/3

В. В. КИРИЧУК, А. А. ТАДДЕЕВ

ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Определение инвариантных характеристик деформации земной коры осуществляется в настоящее время на основе гипотезы кулоново-однородного деформирования изучаемой области [1, 4], при этом остается открытым вопрос выделения внутри этой области однородно-деформированных регионов. Поэтому целесообразно предварительно выделить внутри ее регионы с однородным характером деформаций, а затем уже вычислить деформации в пределах каждого региона. Постановленную задачу решают обычно путем привлечения геолого-геоморфологической и тектонической информации. Однако такой подход ввиду неоднозначности этой информации субъективен, обеспечивает лишь качественные характеристики регионов и не дает возможности четко устанавливать их границы. Вероятностно-статистические методы, основанные на представлении поля смещений точек земной поверхности как реализации некоторого случайного процесса, позволяют в определенной степени избежать указанных недостатков.

Обоснование и общие положения разработанной на такой основе методики вычисления инвариантов деформаций изложены в [3]. В соответствии с ней рассмотрим область, содержащую N пунктов, для каждого из которых определены компоненты горизонтального смещения по осям x и y . Таким образом, мы имеем дело с разложением случайного процесса, реализуемого на плоскости в виде векторного случайного поля, на две компоненты — два скалярных случайных поля [3]. Такое представление позволяет избежать сложностей формально-математического характера, возникающих при статистическом анализе векторных случайных полей. Методика анализа на стационарность по дисперсии каждого из составляющих полей (смещений Δx и смещений Δy) следующая [2]:

вычисление поля дисперсий $(\Delta x)^2$ и $(\Delta y)^2$ с помощью алгоритма скользящей дисперсии. В обработке принимаются пункты, падающие в окрестность скользящего, ограниченного радиусом скользяжения R_0 . Следует отметить, что R_0 необходимо задавать, исходя из степени обеспеченности территории пунктами (густоты пунктов) и детальности исследования данной области;

выделение внутри области регионов, стационарных по дисперсиям $(\Delta x)^2$ и $(\Delta y)^2$, при помощи критерия Фишера*.

Выделенные регионы можно с достаточным основанием считать регионами с локально-однородным характером деформирования и, следовательно, все пункты, заключенные в том или ином регионе, обрабатывать совместно.

Определение характеристик деформации (дилатации, максимального и минимального растяжения, сдвига, поворота участков) осуществляется по общеизвестным формулам (см., например, [1, 3, 4]) посредством вычисления компонент e_{ij} тензора деформаций. Поскольку смещения являются линейными функциями координат [1, 3], то для каждого отдельного пункта k будут иметь место соотношения

$$\Delta x_k = e_{11} x_k + e_{12} y_k + a, \quad \Delta y_k = e_{21} x_k + e_{22} y_k + b, \quad (1)$$

из которых определяются искомые компоненты e_{ij} тензора деформации (здесь Δx_k и Δy_k — составляющие деформаций вдоль осей x и y соответственно; x_k и y_k — плоские прямоугольные координаты пункта k ; a и b — свободные члены).

В нашем случае каждый из стационарных регионов содержит n пунктов. При $n > 3$ система (1) будет переопределенной, значит компоненты e_{ij} следует находить при условии

$$\sum_{k=1}^n \{ [\Delta x_k - (e_{11} x_k + e_{12} y_k + a)]^2 + [\Delta y_k - (e_{21} x_k + e_{22} y_k + b)]^2 \} = \min. \quad (2)$$

* Количество таких стационарных регионов, соответствующее каждому из составляющих реализации векторного поля смещений, может различаться, что следует из природы самого изучаемого явления.

Это условие приводит от уравнений (1) к нормальным уравнениям [3]

$$A^T \cdot A \cdot E - A^T \cdot L = 0, \quad (3)$$

где A — матрица известных коэффициентов уравнений (1) размером $2n \times 6$; E — матрица искомых компонент e_{ij} тензора деформаций размером 6×1 ; L — матрица свободных членов размером $2n \times 1$.

После простых преобразований (3) получим систему уравнений вида

$$e_{11} \sum_{i=1}^n x_i^2 + e_{12} \sum_{i=1}^n x_i y_i + a \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \Delta x_i x_i = 0,$$

$$e_{11} \sum_{i=1}^n x_i y_i + e_{12} \sum_{i=1}^n y_i^2 + a \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n \Delta x_i y_i = 0, \quad \text{I группа}$$

$$e_{11} \sum_{i=1}^n x_i + e_{12} \sum_{i=1}^n y_i + a \cdot n - \sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0,$$

$$\dots \dots \dots$$

$$e_{21} \sum_{i=1}^n x_i^2 + e_{22} \sum_{i=1}^n x_i y_i + b \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \Delta y_i x_i = 0,$$

$$e_{21} \sum_{i=1}^n x_i y_i + e_{22} \sum_{i=1}^n y_i^2 + b \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n \Delta y_i y_i = 0, \quad \text{II группа}$$

$$e_{21} \sum_{i=1}^n x_i + e_{22} \sum_{i=1}^n y_i + b \cdot n - \sum_{i=1}^n \Delta y_i = 0,$$

которая разделяется на две независимые группы уравнений. Решая уравнения каждой группы, можно, используя для I группы значения Δx_i , x_i , y_i , получить компоненты e_{11} и e_{12} для каждого из выделенных стационарных по дисперсиям $(\Delta x)^2$ регионов по n пунктам, входящим в соответствующий регион. Для II группы уравнений, используя Δy_i , x_i , y_i для всех n пунктов каждого отдельного региона, стационарного по дисперсиям значений Δy , можно получить компоненты e_{21} и e_{22} тензора деформаций. Искомые неизвестные получаем из решения эквивалентных систем I и II групп уравнений системы (4):

$$e_{11} \sum_{i=1}^n x_i^2 + e_{12} \sum_{i=1}^n x_i y_i + a \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \Delta x_i x_i = 0, \quad (4)$$

$$e_{12} K_1 + a K_2 - K_3 = 0,$$

I группа

$$a \left(K_4 - \frac{K_2^2}{K_1} \right) - \left(K_5 - K_2 \frac{K_3}{K_1} \right) = 0,$$

.....

$$e_{21} \sum_{i=1}^n x_i^2 + e_{22} \sum_{i=1}^n x_i y_i + b \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n \Delta y_i x_i = 0,$$

$$e_{22} K_1 + b K_2 - K_6 = 0,$$

И группа

$$b \left(K_4 - \frac{K_2}{K_1} \right) - \left(K_7 - K_2 \frac{K_6}{K_1} \right) = 0, \quad (5)$$

где

$$K_1 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}; \quad K_2 = \sum_{i=1}^n y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2};$$

$$K_3 = \sum_{i=1}^n \Delta x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}; \quad K_4 = n - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2};$$

$$K_5 = \sum_{i=1}^n \Delta x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n \Delta x_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}; \quad K_6 = \sum_{i=1}^n \Delta y_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i \cdot \sum_{i=1}^n \Delta y_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2};$$

$$K_7 = \sum_{i=1}^n \Delta y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n \Delta y_i x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}.$$

Определенные таким образом значения e_{11} и e_{12} постоянны для всех n пунктов в пределах каждого региона, стационарного по дисперсиям значений смещений Δx , а значения e_{21} и e_{22} соответственно постоянны для всех n пунктов каждого региона, стационарного по дисперсиям значений смещений Δy .

Таким образом, каждый из N пунктов изучаемой области получает приписанные ему значения компонент e_{ij} тензора деформации, которые служат затем исходной информацией для вычисления характеристик деформации. В итоге имеем довольно простой алгоритм, легко реализуемый на ЭВМ.

Апробация изложенной методики выполнена на материалах повторных измерений в сети триангуляции I и II класса, приуроченных к землетрясению в Канто, 1923 г. (Япония). Исходной информацией служили координаты и горизонтальные смещения

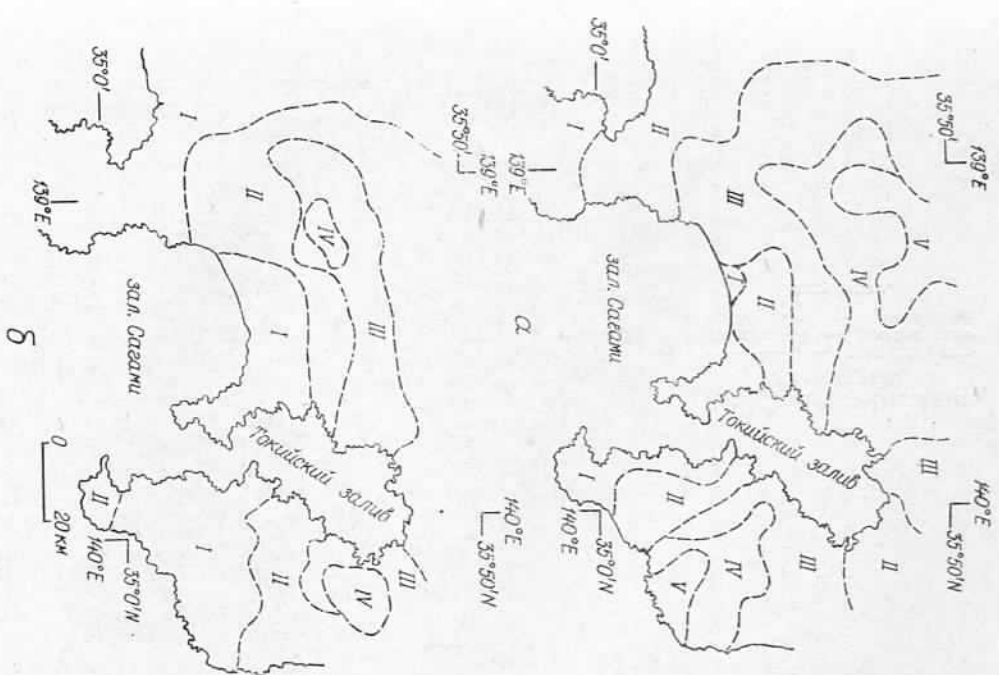


Рис. 1. Регионы, стационарные по дисперсиям значений смещений.

а — по оси x ; б — по оси y .
----- границы регионов; IV — номера регионов.

$N=172$ пунктов сети [4] *. В процессе районирования предварительно был выделен тренд, в качестве которого использовалось среднее арифметическое из 172 значений смещений Δx и Δy соответственно для каждого из составляющих реализаций поля смещений. Задаваясь радиусом скольжения $R_0=10'$, вычисляли дисперсии $(\Delta x)^2$ и $(\Delta y)^2$ и при помощи критерия Фишера с уровнем

* В [4] координаты пунктов приведены без оценки их точности. Автор отмечает, что точность определения векторов смещений достаточна для выявления движений земной поверхности в районе. Поэтому, хотя методика предусматривает использование неравноточных измерений, мы вынуждены принять в обработку цитированные данные как равноточные.

ев А. А., Киричук В. В. Об определении характеристик деформаций по данным о горизонтальных движениях земной коры. — К., 1984. — 11 с. — Рукопись деп. в УкрНИИТИ, № 1171 Ук-84. 4. Nakane K. Re-evaluation of Horizontal Displacements of Second Order Triangulation Stations associated with the 1923 Kanto, Japan, Earthquake. — Jour. Geod. Soc. Japan, 1978, v. 24, № 4, p. 214—225.

Статья поступила в редколлегию 26. 10. 84

УДК 528.5

А. С. КОЛОС, В. Г. ГРЕБЕНЮК

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОГАБАРИТНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИИ ЧАСТНОГО УГЛА ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ

В статье рассмотрена возможность определения аномалии частного угла вертикальной рефракции по колебаниям изображения, определенным с помощью телевизионной установки.

Значение частного угла вертикальной рефракции можно определить по колебаниям изображения визирной цели, используя формулу (1)

$$\rho = \rho_n + 0,035 \cdot L^{1/2} \cdot h_g^{-1/2} D^{1/6}, \quad (1)$$

где ρ_n — угол рефракции при нейтральной стратификации; σ — максимальная амплитуда колебаний изображения за период; D — диаметр объектива теодолита; L — длина визирного луча; h_g — эквивалентная высота луча.

При использовании объектива от теодолита ОТ-02, диаметр которого $D=6$ см, можно записать:

$$\rho = \rho_n + 0,047 \sigma \cdot L^{1/2} h_g^{-1/2}. \quad (2)$$

Как видно из (1) и (2), для определения частного угла вертикальной рефракции необходимо с высокой точностью найти максимальную амплитуду колебаний изображения за период. Период колебаний в среднем составляет 10...20 с [2].

Для определения амплитуды колебаний нами была применена малогабаритная телевизионная установка «Электроника-801», состоящая из телевизионной камеры, камерного блока и блока питания. Питание этой установки можно осуществлять от аккумуляторной батареи напряжением 12 В, что позволяет использовать ее в полевых условиях.

Для определения максимальной амплитуды колебаний изображения визирной цели, которой служила специальная марка, чек-кадот видикона телевизионной камеры, на который фотографическим способом была нанесена специальная отсчетная сетка в виде горизонтальных линий с ценой деления 0,05 мм.

Изображение визирной цели вместе с изображением отсчетной сетки рассматривали на экране воспроизводящего устройства, которым служила специально разработанная [3] электронно-лучевая трубка с повышенной разрешающей способностью — 350 линий в центре. В качестве видеоконтрольного устройства использовали малогабаритный телевизор «Электроника-Карпаты».

Точность отсчета на экране при визуальной индикации составила 0,25 мм (расстояние между изображением штрихов сетки на экране равнялась 0,5 мм).

Недостатком прямой визуальной индикации отсчетов, особенно при большой частоте колебания изображения, является инерционность зрения, не позволяющая проанализировать точного отсчета из-за кратковременности одного колебания.

Для улучшения индикации и повышения достоверности измерений использовано такое важное достоинство телевидения, как фиксация видимого изображения объекта (марки), его состояния в данный момент (запись на видеоматрице). Изображения визирной цели записывали на протяжении 30 с на видеоматрице «Электроника Д-108». Этот видеоматрицефон позволяет производить остановку изображения на экране видеоконтрольного устройства при воспроизведении записи.

При воспроизведении на экране электронно-лучевой трубки видеоконтрольного устройства записанного изображения визирной цели через каждые 2 с производилась его остановка и определялось положение относительно вертикальных штрихов координатной сетки, положение которой оставалось неизменным. По сравнению относительно сетки изображений определяли амплитуду колебаний изображения.

Для повышения точности отсчета использовали отсчетный микроскоп МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм.

Определение амплитуды колебаний изображения при помощи телевизионной установки проводили летом 1984 г. в течение 10 дней по 5...8 ч в день на учебном геодезическом полигоне. Направления для исследований были выбраны на северной окраине и расположены на высоком (до 35 м) берегу реки. Экспериментальные наблюдения выполнялись по трассам длиной 30, 40, 50, 60, 150, 230 и 300 м, которые проходили по дороге, расположенной параллельно речной долине и имеющей меридиональное направление. Средние высоты визирных лучей были соответственно равны 1,00, 1,25 и 1,50 м. Исследования были выполнены при различных погодных и температурных условиях.

Для сравнения проводились одновременные измерения амплитуды колебаний теодолитом ОТ-02 по методике, описанной в [2]. Колебания верхнего среза марки отсчитывали в десятках долей ширины горизонтального биссектора в течение 30 с. При этом по возможности брали максимальные отклонения и амплитуду определяли как разницу между максимальными верхним и нижним отклонениями.

В табл. 1 приведены усредненные результаты значений максимальных амплитуд колебаний изображения визирной марки в зависимости от времени суток.