

*А. Г. ЛИСОВЕЦ, А. А. НИКОНОВ, В. А. СКРЫЛЬ*

**ВАРИАНТ КАРТЫ СОВРЕМЕННЫХ  
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ  
КАРПАТО-БАЛКАНСКОГО РЕГИОНА  
НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОЛЛОКАЦИИ**

При картографическом изображении современных вертикальных движений земной коры мы сталкиваемся с такими важными проблемами, как единообразное отражение на площади различных по точности и времени интервалов исходных данных (I), вы-

деление в измеренных величинах именно тектонической составляющей движений (II), адекватное изображение полученных дискретных значений скорости в виде поля скоростей движений (III).

Мы затрагиваем только последнюю проблему с целью поделить-ся опытом использования статистического метода (метода коллокации) для представления результатов измерений в виде поля скоростей.

Существующие карты современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) основаны на точных геодезических данных. Таковы карта Восточной Европы, 1973 [2] и карта Карпато-Балканского региона, 1979 [11].

Наши исследования относятся к территории Карпато-Балканского региона. Выбор региона объясняется двумя главными причинами.

Во-первых, для региона имеется карта современных вертикальных движений, специально составленная по согласованной программе [8, 9, 11]. Во-вторых, именно в Паннонском бассейне и окружающих горах полученные значения вертикальных перемещений поверхности скорее всего отражают собственно тектонические унаследованные движения. Такое заключение основывается на исследованиях ковариационных функций ошибок измерений [12], с одной стороны, и хорошей корреляции поля современных вертикальных движений, новейших движений и ряда геофизических параметров — с другой [1]. Иными словами, в этом регионе более чем в других районах Восточной Европы карта современных движений отражает движения земной коры. Поэтому Карпато-Балканский регион представляется наиболее подходящим для преобразования первоначальных дискретных значений скорости вертикальных движений в приближающееся к реальному полю скоростей движений земной коры. Использован фактический материал с карты СВДЗК Карпато-Балканского региона (1979, масштаб 1:1000000) под редакцией доктора И. Йоо [11] в виде 249 узловых пунктов со значениями скорости вертикальных движений. Точность измерений и расчеты скорости движений в этих пунктах приводятся в объяснительных записках к картам [8, 9] и дополнительно не рассматриваются. Мы сосредоточим внимание на способах перехода от точечных значений скорости современных вертикальных движений земной коры к представлению их в виде поля скоростей.

На карте СВДЗК Карпато-Балканского региона, как и на большинстве других карт, переход от точечных значений скорости к площадному изображению в виде изолиний скорости осуществлен традиционным способом. Он заключается в линейной интерполяции точечных значений скорости вдоль линий повторного нивелирования и последующей свободной экстраполяции значений между этими линиями. Практически изолинии проводит ручным способом кто-либо из исследователей в соответствии с морфо-структурными особенностями территории. При таком варианте изображения на карте поля скоростей современных вертикальных

движений сознательно или бессознательно реализуется идея о тесной корреляционной связи между современными движениями поверхности, геологической структурой и рельефом рассматриваемой территории. При традиционном способе составления карт СВДЗК достигнутые геодезическими измерениями точности используются в ряде случаев не в полной мере и в зависимости от степени геолого-геоморфологической изученности и индивидуальных представлений составителя.

По мнению авторов, тесная связь между современными вертикальными движениями поверхности, геологической структурой и рельефом возможна, но не обязательна. В каждом регионе указанная связь должна быть предметом исследования, но не исходным постулатом.

Необходимо искать иные способы обработки и представления первичных данных о современных изменениях высот земной поверхности, которые были бы независимы от имеющихся, в ряде случаев субъективных представлений о морфоструктурах и обязательной зависимости от них современных вертикальных движений, измеряемых на поверхности.

Хорошую возможность независимого представления поля скоростей, основанного исключительно и полностью на первичных результатах измерений, дают статистические методы, в первую очередь базирующийся на вариационной статистике метод коллокации [4]. Метод обеспечивает максимальное использование полученной инструментальным путем информации о современных движениях как процессе многофакторном. Исходное положение использования метода коллокации состоит в том, что поле скоростей современных вертикальных движений рассматривается как случайное, изотропное на участках, однородных по дисперсии значений скорости.

Метод среднеквадратической коллокации для рассматриваемой цели использован несколькими исследователями [3, 5, 7, 8, 10]. В СССР с его помощью составлены уточненные карты современных вертикальных движений о. Сахалин и Закаспийской территории.

Метод позволяет проводить на статистической основе интерполяцию значений скорости вне пунктов с заранее известными скоростями. Статистический анализ включает вычисление характеристик дисперсии скорости, выделение участков с постоянной (в избранных пределах) дисперсией значений скорости и построение ковариационных функций для каждой группы участков. В дальнейшем на основе полученных модельных ковариационных функций осуществляется интер- и экстраполяция значений скорости вне использованных на первом этапе узловых пунктов. Для построения таким способом варианта карты современных вертикальных движений Карпато-Балканского региона проведены следующие операции.

Поле скоростей современных вертикальных движений региона, образованное 249 узловыми пунктами на карте 1979 г., подвергнуто статистическому анализу.

Характеристики дисперсий скорости вычислены при помощи алгоритма скользящей дисперсии

$$\sigma^2(E) = \frac{\sum_{i=1}^n (V_E - V_i)^2}{n},$$

где  $V_E$  — значение скорости движений в точке, для которой определяется дисперсия;  $V_i$  — значение скорости в точках, попадающих в окружность радиусом  $R$ ;  $n$  — количество точек, попавших в окружность скользящего радиуса  $R$ . Радиус  $R$  выбран таким, чтобы в окружность скользящего радиуса попадало достаточное количество точек с известными скоростями, но в то же время чтобы характеризовалась локальная дисперсия.

Значения дисперсий скорости в Карпато-Балканском регионе лежат в пределах от 9,62 до 0,01 мм<sup>2</sup>/год<sup>2</sup>. На основании вычисленных значений дисперсий скорости выделены участки, стационарные по дисперсии скорости (использован критерий Фишера при 5%-ном уровне значимости). Проведенный анализ позволил выделить пять однородных в статистическом отношении групп участков со значениями дисперсии 3,08; 1,23; 0,67; 0,51; 0,47 мм<sup>2</sup>/год<sup>2</sup> (см. таблицу).

Характеристики однородных по дисперсии территориальных групп

Номер группы	Число участков в группе	Дисперсия, мм/год	Количество точек в группе	Крайние значения скорости, мм/год	
				max	min
I	4	3,08	52	4,3	-3,4
II	6	1,23	53	3,1	-2,0
III	3	0,67	87	2,8	-1,1
IV	5	0,51	44	1,6	-1,1
V	3	0,47	13	1,0	-0,3

Размеры участков находятся в обратном отношении с плотностью исходных точек. Наибольшая она на севере и наименьшая на востоке и северо-востоке региона (рис. 1). Каждая группа состоит из нескольких несмежных участков. Характеристики однородных по дисперсии скорости территориальных групп приведены в таблице.

Статистические свойства поля скорости в пределах каждого участка описываются ковариационными функциями, характеризующими степень изменения стохастической связи между различными элементами поля.

Для каждой из вышеназванных групп вычислены эмпирические ковариационные функции вида

$$C^g(\psi) = \frac{\sum_{k=1}^n (V_i V_j)_k}{n},$$

где  $C^g(\psi)$  — корреляционный момент для заданного сферического расстояния;  $V_i, V_j$  — значения скоростей пары точек, отстоящих друг от друга на заданном расстоянии;  $n$  — число таких пар точек.

Рис. 1. Схема расположения участков (I, II, III, IV, V), различающихся по дисперсии значений скорости вертикальных движений.

(● — узловые пункты и скорости движений в них согласно карте 1979 г.).

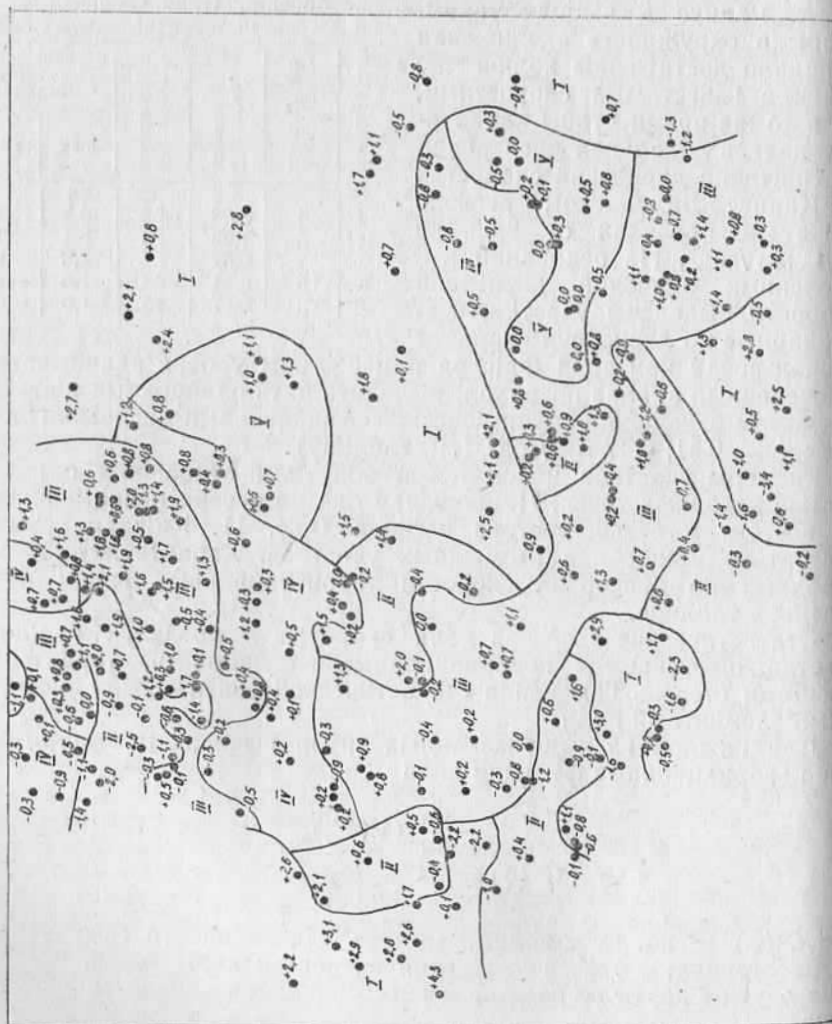
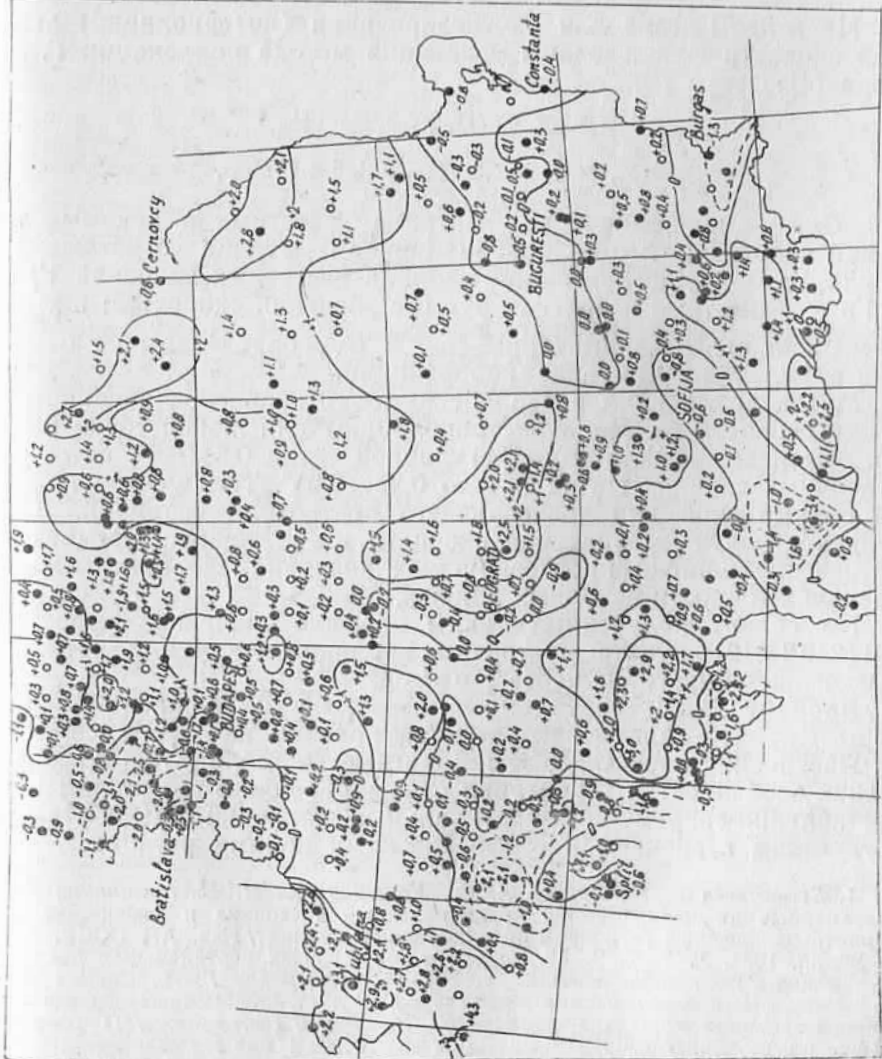


Рис. 2. Вариант карты со-  
временных вертикальных  
движений земной коры, по-  
лученный с помощью мето-  
да коллокации.

● — узловые точки со зна-  
чениями скорости вертикальных  
движений (мм/год) на карте  
1979 г.; ○ — точки в узлах  
сетки  $0,5 \times 0,5^\circ$  для которых  
значения скорости получены  
методом коллокации; ~ —  
изолинии положительных зна-  
чений скорости (мм/год); - - -  
изолинии отрицательных значе-  
ний скорости (мм/год).



В последующем эмпирическая функция аппроксимировалась по способу наименьших квадратов аналитическим выражением ковариационной функции:

$$C(\psi) = C_0 e^{-A\psi^m},$$

где  $C_0$  — дисперсия поля;  $A, m$  — параметры модельной функции. Значения параметров модельных функций приведены ниже:

	I	II	III	IV	V
A	0,00283	0,06536	0,00107	0,00351	0,00094
	2,0	0,5	1,5	2,0	1,5

На втором этапе для прогнозирования (интерполяции) значений скорости использованы уравнения метода коллокации Г. Морица [4]:

$$V_P = C_{PV}^T (C_{VV} + D)^{-1} V_K,$$

$$m_{V_P}^2 = C_0 - C_{PV}^T (C_{VV} + D)^{-1} C_{PV},$$

где  $C_{PV}$  — ковариационная матрица известных и искомым значений скорости;  $C_{VV}$  — ковариационная матрица известных значений  $V$ ;  $D$  — дисперсионная матрица известных значений  $V$ ;  $V_K$  и  $V_P$  — известные и прогнозируемые значения скоростей;  $m_{V_P}^2$  — дисперсия прогноза. Матрицы  $C_{PV}$  и  $C_{VV}$  определены на основании модельной ковариационной функции.

Метод коллокации позволяет выполнять прогнозирование значений скорости (интер- и экстраполяцию) для любой точки региона. Мы использовали узлы регулярной сетки  $0,5 \times 0,5^\circ$ , которая в отдельных случаях сгущалась до  $0,25 \times 0,25^\circ$ . Такая сетка признана оптимальной для последующего построения изолиний. В результате получены значения скорости в 412 точках. Среднеквадратические ошибки прогнозируемых значений скорости лежат в пределах точности исходных данных.

На основе полученных таким образом значений скорости в 661 (249+412) пункте построены изолинии скорости вертикальных движений региона через 1 мм/год.

Вариант карты современных вертикальных движений земной коры Карпато-Балканского региона показан на рис. 2.

Построение карт СВДЗК независимо от геолого-геоморфологических особенностей территории открывает новые возможности сопоставления современных вертикальных движений с рельефом, геологическим строением и геофизическими полями региона.

1. Бронгулеев В. В., Грачев А. Ф., Калашникова И. В., Магницкий В. А. Современные движения земной коры, новейшая тектоника и физические поля Карпато-Балканского региона. Корреляционный анализ // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. № 7. С. 3—12. 2. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М., 1973. 3. Мещеряков Г. А., Скряль В. А. Применение метода коллокации для построения карт современных вертикальных движений земной коры (на примере о. Сахалин) // Тез. докл. VIII Всесоюз. совещ. по изучению современных движений земной коры «Современные движения земной коры». Кишинев, 15—17 мая. Кишинев, 1982. С. 88. 4. Мориц Г.

- Современная физическая геодезия. М., 1983. 5. *Скрыль В. А.* Прогнозирование скоростей современных вертикальных движений земной коры // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1981. Вып. 33. С. 68—75. 6. *Hein G., Kistermann R.* On the problem of deriving recent crustal movements from geodetic levelling data // Allgemeine Vermessungs — Nachrichten. 1979. V. 86. N 10. P. 392—398. 7. *Hein G., Kistermann R.* Mathematical foundation of nontectonic effect in geodetic recent crustal movement models // Tectonophysics. 1981. V. 71. P. 315—334. 8. *Joo I., Csáti E., Fűry M.* et al. Explanatory description to the Map of Recent Vertical Crustal Movements in the Carpatho-Balkan Region. Budapest, 1979. 9. *Joo I., Csáti E., Jovanović P.* et al. Recent vertical crustal movements of the Carpatho-Balkan region // Tectonophysics. 1981. V. 71. P. 41—52. 10. *Kangieser E.* Modellierung vertikaler krustenbewegungen durch kollokation // Zeitschrift für Vermessungswesen. 1983. Bd. 108. N 9. S. 373—381. 11. Map of recent vertical crustal movements in the Carpatho-Balkan region. Budapest, 1979. 12. *Meier S.* Signifikanzprüfung rezenter vertikaler Erdkrustentbewegungen mit Hilfe von korrelationsfunktion // Gerlands Beitrag Geophysik. 1984. Bd. 93. N 5. S. 379—391.