

рений длин отрезков l_i , которые не учитываются формулами (3) — (5). Соотношение длин диагоналей ромба должно быть в два—три раза меньше соответствующего соотношения шагов сканирования вдоль строки и между строками.

Из остальных фигур наиболее подходящей является круг, площадь которого можно измерить точнее, чем площадь равно- великого ему треугольника, квадрата или прямоугольника.

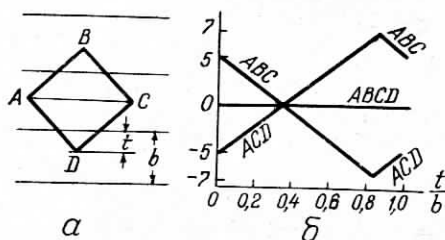


Рис. 2. Погрешности Δ_s измерения площадей треугольников и ромба:

a — расположение фигур на линиях сканирования ($a=0,5$ мм, $AC=BD=14,85$ мм); b — графики Δ_s для треугольников и ромба.

Список литературы: 1. Баламатов Н. Н., Комиссаров В. В., Расположенский Н. А. Система измерения площадей на картах и аэрофотоснимках по оптическим признакам. — Геодезия и картография, 1978, № 12. 2. Комиссаров В. В., Расположенский Н. А. Автоматизация измерения площадей на картах по цветовым признакам. — Вестник МГУ. Сер. География, 1974, № 6. 3. Смирнов В. И. Курс высшей математики. Т. 2. — М.: Гостехтеориздат, 1956. 4. Moran P. A. P. Statistical theory of a high-speed photoelectric planimeter. — Biometrika, London, 1968, v. 55, N 2.

Работа поступила в редколлегию 7 мая 1979 года.

УДК 551.24:528

В. А. СКРЫЛЬ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Применение методов математической статистики к изучению реальных физических полей, таких, как гравитационное, тепловое, электромагнитное поле Земли, поле рельефа земной поверхности и его производных во времени и пространстве, обусловлено прежде всего тем, что весь геологический опыт свидетельствует об объективно существующих, часто весьма сложных, опосредствованных стохастических связях между разнотипными физическими характеристиками Земли, рассматриваемой в целом как система.

Поэтому, прежде чем перейти к комплексному количественному описанию физических полей Земли с последующей интер-

претацией (геологической, геофизической и т. п.), необходимо выбрать оптимальный метод обработки количественной информации, относящейся к полю произвольной природы.

По нашему мнению, критерии оптимальности метода обработки информации следующие:

1. Способность метода адекватно описывать поля различной физической природы.
2. Возможность установления в пределах самого метода парных и множественных количественных и качественных связей между полями различной физической природы.
3. Наличие алгоритма, позволяющего эффективно использовать ЭВМ.
4. Возможность точностных оценок характеристик полей.
5. Совместимость метода с реальными статистическими свойствами описываемых явлений.

В последние годы при решении целого комплекса вопросов, связанных с исследованиями гравитационного поля Земли и других планет, широко применяется метод множественной линейной регрессии, или метод коллокации. Он в наилучшей мере отвечает отмеченным выше критериям, и поэтому, очевидно, интересно исследовать его возможности при обработке информации о поле скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК).

Цель работы — прогнозирование скоростей СВДЗК для участков, сведения о которых отсутствуют, выполненное на основе их статистического анализа и метода коллокации. В качестве исходной информации использована «Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы» [1].

На первом этапе исследовали стационарность поля скоростей СВДЗК, в результате чего выделено пять стационарных по дисперсии регионов [2]. Отметим, что их границы достаточно хорошо согласуются с границами тектоноструктур, выделяемых по совокупности геологической информации.

Поскольку поле скоростей СВДЗК имеет кусочно-стационарное строение, мы оказались перед альтернативой: либо непосредственно изучать каждый из регионов в отдельности, снижая в какой-то мере достоверность статистических выводов, либо выполнять предварительно принудительную стационаризацию по дисперсии поля всей области, а затем исследовать уже однородный по статистическим свойствам материал в совокупности.

Центральную роль в методе коллокации играют ковариационные функции, которые определяются по эмпирическим данным. Именно они являются статистической оценкой внутренней структуры физического поля. Построены эмпирические ковариационные функции как для поля скоростей всей области, так и для полей каждого из пяти регионов. При вычислении значений эмпирических ковариационных функций использовано соотношение

$$C(\Psi) = \frac{\sum \sin \theta_i \sin \theta_j v_i v_j}{\sum \sin \theta_i \sin \theta_j}, \quad (1)$$

где θ_i, θ_j — широты центров трапеций $1^\circ \times 1^\circ$; v_i и v_j — значения скоростей СВДЗК в трапециях, расстояние между центрами которых равно заданному значению сферического расстоя-

Таблица 1

Ковариационная функция центрированного нормированного поля скоростей СВДЗК для всей области

Расстояние, град	Корреляционные моменты $C(\Psi)$	Число произведений $v_i v_j$ n	Расстояние, град	Корреляционные моменты $C(\Psi)$	Число произведений $v_i v_j$ n
0°	0,97	267	11	-0,08	4528
1	0,33	1388	12	-0,05	4386
2	0,25	2140	13	-0,09	3938
3	0,16	3028	14	-0,04	3526
4	0,17	3324	15	-0,08	3016
5	0,15	3830	16	-0,06	2712
6	0,07	4660	17	-0,09	2452
7	0,01	4482	18	-0,09	2134
8	-0,06	4680	19	-0,07	1796
9	-0,05	4662	20	-0,01	1432
10	-0,11	4622			

Таблица 2

Ковариационные функции поля скоростей СВДЗК для I—V регионов

Ψ°	I регион		II регион		III регион		IV регион		V регион	
	$c(\Psi)$	n	$c(\Psi)$	n	$c(\Psi)$	n	$c(\Psi)$	n	$c(\Psi)$	n
0°	0,75	51	4,42	17	4,59	159	8,52	29	12,70	24
1	0,40	218	4,29	104	2,36	664	2,09	180	8,92	118
2	0,26	310	3,41	102	1,88	1010	0,95	234	8,39	146
3	0,19	468	2,65	34	1,27	1696	0,47	174	6,69	138
4	0,16	412	1,18	24	1,18	1670	-1,20	118	6,61	98
5	0,14	340	0,65	8	0,66	1716	-0,97	64	8,02	38
6	0,20	366			0,14	2114	-2,55	34	5,18	10
7	0,19	214			0,05	1848	-2,39	8	8,16	4
8	0,14	138			-0,25	1984				
9	-0,32	68			-0,44	1804				
10	0,07	14			-0,67	1726				
11	0,12	2			-0,57	1600				
12					-0,59	1518				
13					-0,45	1358				
14					-0,50	1216				
15					-0,31	994				
16					-0,83	802				
17					-1,15	606				
18					-1,04	410				
19					-0,75	252				
20					+1,19	104				

(1)

ния ψ^* . В табл. 1, 2 приведены значения ковариационных функций для всей области и отдельно по регионам. На рис. 1—6 показаны соответствующие графики.

Для дальнейшего эффективного в вычислительном отношении использования ковариационных функций необходимо по их эмпирическим значениям подобрать оптимальные параметры модельных ковариационных функций, обладающих свойствами

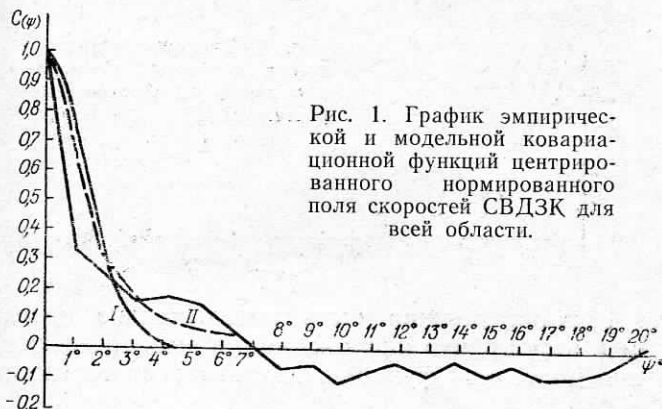


Рис. 1. График эмпирической и модельной ковариационной функции централизованного нормированного поля скоростей СВДЗК для всей области.

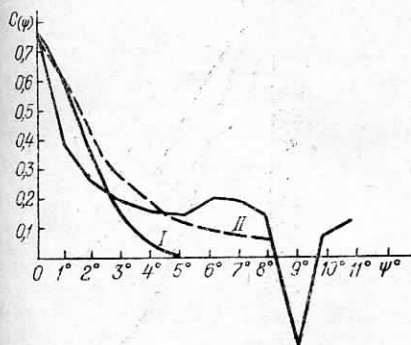


Рис. 2. График эмпирической и модельной ковариационной функции поля скоростей СВДЗК для I региона.

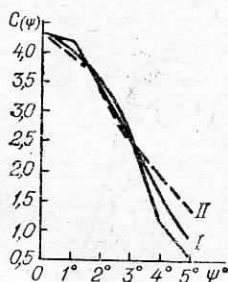


Рис. 3. График эмпирической и модельной ковариационной функции поля скоростей СВДЗК для II региона.

положительной определенности и изотропности. Из многочисленного класса этих функций нами выбраны те, которые применяются при излучении силы тяжести Земли:

$$C(\Psi) = C_0 \cdot e^{-a\Psi^2}; \quad C(\Psi) = \frac{C_0}{1 + \left(\frac{\Psi}{d}\right)^2}, \quad (2)$$

* При вычислении значений эмпирических ковариационных функций для всей области в качестве v_i и v_j взяты централизованные нормированные значения скоростей.

где C_0 — дисперсия поля, т. е. значение ковариационной функции при $\psi=0^\circ$; a и d — константы, определяемые по значениям эмпирических и ковариационных функций.

Анализируя данные табл. 1, 2 и графики эмпирических ковариационных функций, а также учитывая, что любая ковариационная

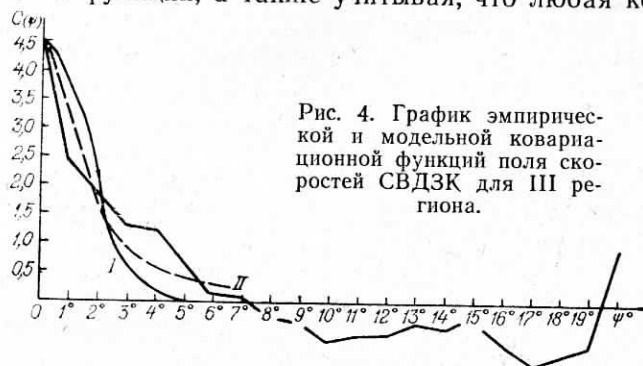


Рис. 4. График эмпирической и модельной ковариационной функций поля скоростей СВДЗК для III региона.

ционная функция должна быть положительно определенной, приходим к выводу, что аппроксимация эмпирических значений с помощью модельной функции действительна только на интервале $0^\circ \leq \psi \leq 7^\circ$.

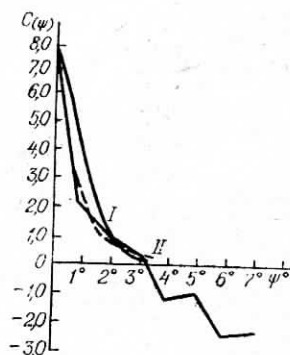


Рис. 5. График эмпирической и модельной ковариационной функций поля скоростей СВДЗК для IV региона.

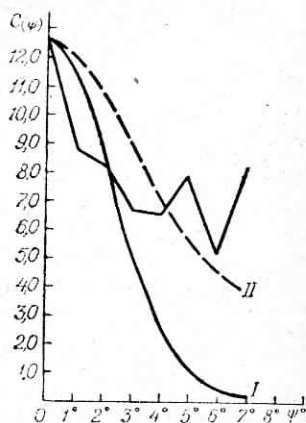


Рис. 6. График эмпирической и модельной ковариационной функций поля скоростей СВДЗК для V региона.

Аппроксимация по методу наименьших квадратов позволила получить модельные ковариационные функции, значения которых приведены в табл. 3. Графики этих функций соответственно показаны на рис. 1—6, где сплошная линия соответствует первой из формул (2), а штриховая — второй.

Анализ точностных характеристик аппроксимации эмпирических ковариационных функций дает возможность заключить, что ни одна из апробированных функций не описывает удовле-

функ-
циям
их ко-
вариа-

творительно статистических свойств поля скоростей СВДЗК в интервале $0^\circ < \psi < 1^\circ$. Это вызвано, по-видимому, недостаточным учетом при оценках констант модельных ковариационных функций параметра кривизны эмпирической ковариационной функции, непосредственно связанного с градиентом поля скорости СВДЗК и «отвечающего» за поведение эмпирической ковариационной функции в окрестностях точки $\psi = 0^\circ$. Этот

Таблица 3
Модельные ковариационные функции

Ковариационная функция	$C_0 e^{-d\psi^2}$	$C_0/1 + \left(\frac{\psi}{d}\right)^2$
Центрированного нормированного поля скоростей СВДЗК для всей области	$0,97 e^{-0,279\psi^2}$	$\frac{0,97}{1 + \left(\frac{\psi}{1,37}\right)^2}$
I региона	$0,75 e^{-0,163\psi^2}$	$\frac{0,75}{1 + \left(\frac{\psi}{2,30}\right)^2}$
II региона	$4,42 e^{-0,062\psi^2}$	$\frac{4,42}{1 + \left(\frac{\psi}{3,52}\right)^2}$
III региона	$4,59 e^{-0,198\psi^2}$	$\frac{4,59}{1 + \left(\frac{\psi}{1,54}\right)^2}$
IV региона	$8,52 e^{-0,759\psi^2}$	$\frac{8,52}{1 + \left(\frac{\psi}{0,67}\right)^2}$
V региона	$12,7 e^{-0,089\psi^2}$	$\frac{12,7}{1 + \left(\frac{\psi}{4,65}\right)^2}$

недостаток в целом не снижает ценность обсуждаемых результатов, ибо, во-первых, как известно, выбор той или иной модельной ковариационной функции преимущественно влияет лишь на точностные характеристики результатов обработки информации методом коллокации, а не на значение этих результатов, а во-вторых, в нашем случае при расстояниях $\psi > 1^\circ$ оценка точности не будет существенно искажена неадекватностью выбранных функций.

Для прогнозирования скоростей СВДЗК в точках поверхности рассматриваемой области, для которых эта информация отсутствовала, использовали основные уравнения метода локализации [3], модифицированные следующим образом:

$$v_p = C_{pv}^T (C_{vv} + D)^{-1} v_k; \quad (3) \quad m_{vp} = C_0 - C_{pv}^T (C_{vv} + D)^{-1} C_{pv}. \quad (4)$$

Здесь C_{pv} — ковариационная матрица известных и искомых значений скоростей v ; C_{vv} — ковариационная матрица известных значений v ; D — дисперсионная матрица известных значений v ; v_k — известные значения скоростей; v_p — прогнозируемые значения скоростей; m_{vp} — погрешность прогноза.

Таблица 4

Образец прогноза скоростей СВДЗК

54°	+0,2*	+2,0	+0,1*	+0,1*	-0,4*
	-0,4	-0,5	-0,3	-0,1*	+0,1
	-0,2*	-0,2*	-0,2*	-0,6	-0,1*
	+0,2	-1,0	-0,3*	-0,2*	+0,5
49°	0	-0,9	-0,9	-0,2	+0,3
					24°
19°					

* — прогнозируемые значения скоростей.

Используя соотношения (3) и (4) и модельные функции, приведенные в табл. 3, нами вычислены значения вертикальных движений для центров всех трапедий размера $1^\circ \times 1^\circ$, где эта информация отсутствовала, с соответствующей оценкой точности.

При выполнении прогноза всю рассматриваемую территорию разбивали на блоки $5^\circ \times 5^\circ$. Вычисление прогнозируемых скоростей производили раздельно по блокам. Дисперсии известных значений скоростей приняты равными 2,25 мм/год. Образец такого прогноза в одном из блоков приведен в табл. 4. Средние квадратические погрешности прогнозируемых значений скоростей находятся в пределах $\pm(0,8 \dots 1,8)$ мм/год.

Детальный анализ результатов прогноза подтвердил, что предлагаемая методика позволяет с большой степенью достоверности выявлять основные пространственные локализации СВДЗК на конкретную эпоху и использовать ее для составления карт СВДЗК.

- Список литературы: 1. Буланже Ю. Д., Лиленберг Д. А. Итоги международного сотрудничества стран Восточной Европы по составлению сводной карты современных вертикальных движений земной коры. — Современные движения земной коры, 1973, № 5. 2. Киричук В. В., Скрыль В. А. О нестационарности поля скоростей современных вертикальных движений земной коры. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1980, вып. 31. 3. Moritz H. Least-squares collocation. — DGK, R. A. München, 1973, № 75.

Работа поступила в редколлегию 24 января 1980 года.

УДК 528.48

Н. Г. ЦАБЕКА

ПОВОРОТНАЯ РЕЙКА ДЛЯ НИВЕЛИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ МАРОК СООРУЖЕНИЙ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Геометрическое нивелирование — основной метод определения осадок фундаментов сооружений. Повышение точности и эффективности нивелирования осадочных марок связано с изучением и учетом внешней среды. Известен ряд работ по ослаблению ее влияния на результаты нивелирования [2—5]. Однако проблема остается актуальной, так как окончательно не решен вопрос о точности визирования на плоскость рейки в стесненных условиях промышленных предприятий.

В данной работе предложена конструкция переносной рейки, позволяющей исключить погрешности бокового визирования на штрихи рейки из результатов измерений, что показано на примере цеха одного из заводов г. Днепропетровска. Цех насыщен технологическим оборудованием, механизмами, а также готовой продукцией при интенсивном движении электромостовых кранов. Колонны металлические с шагом 6 и 12 м, многие из них заняты под монтаж вспомогательных устройств.

В качестве осадочных марок решено принять выступы металлических угольников на колоннах, а их нивелирование проводить с помощью выверенного нивелира НА-1 и прокомпарированной метровой прецизионной рейки.

Выбранные места на угольниках колонн предварительно шлифовали и они служили точками подвеса рейки с помощью штыря 4 (рисунк, а).

Наблюдение осадочных марок в первом цикле выполнено по второй программе нивелирования с одной рейкой [6].

На станции крайние симметрично расположенные марки нивелировали как связующие, а находящиеся внутри — как промежуточные.

Вследствие ограниченности рабочего пространства в цехе штатив установить на нужном расстоянии от ряда колонн за-