

В. В. КИРИЧУК, О. А. АБРИКОСОВ, Е. Б. ГРАФОВ

## О РЕГИОНАЛЬНЫХ КОВАРИАЦИОННЫХ ФУНКЦИЯХ АНОМАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Как известно [8], базовыми функциями метода средней квадратической коллокации, широко применяющегося в последнее время для решения ряда практических задач физической геодезии, являются ковариационные функции геопотенциала и его производных, в частности ковариационные функции аномального гравитационного поля Земли. При этом поле аномалий силы тяжести Земли рассматривают как случайное поле, реализующееся на сфере в результате некоторого стационарного случайного процесса. Но уже первые попытки [1, 2] подобной интерпретации поля аномалий силы тяжести ограниченных областей Земли произвольной геометрии в целях гравиметрической разведки показали ее

неправомерность, что подтвердил в дальнейшем корреляционно-статистический анализ поля аномалий силы тяжести обширных регионов (порядка континента) и Земли в целом [5, 10]. Физическая причина нестационарности гравитационного поля Земли — неоднородность строения ее недр. В [6] указано, что уникальность поля силы тяжести по сравнению с другими физическими полями планеты состоит в том, что оно содержит информацию обо всех без исключения массах, слагающих Землю.

С учетом этого в работе М. Вильямсона [10] в качестве самостоятельных структурных единиц глобального аномального гравитационного поля Земли были рассмотрены поля континентов, океанов и переходных зон «континент-океан». Однако более детальный анализ поля аномалий силы тяжести этих структурных единиц, в частности континентов, выявил их сложное мозаичное строение [3], что заставило в качестве структурных единиц глобального аномального гравитационного поля Земли принять регионы, обладающие однородными статистическими свойствами, а именно регионы стационарные по дисперсии.

В [3] на основе значений аномалий силы тяжести, отнесенных к центрам равновеликих пятиградусных трапеций в разграфке Каулы [9] было выполнено районирование глобального аномального гравитационного поля Земли на регионы стационарные по дисперсии, в результате которого было выделено шесть регионов:

1	$0 \leq D \leq 0.6 \cdot 10^{-8} (\text{м}/\text{с}^2)^2$
2	$0.6 \cdot 10^{-8} < D \leq 2 \cdot 10^{-8} (\text{м}/\text{с}^2)^2$
3	$2 \cdot 10^{-8} < D \leq 4 \cdot 10^{-8} (\text{м}/\text{с}^2)^2$
4	$4 \cdot 10^{-8} < D \leq 8 \cdot 10^{-8} (\text{м}/\text{с}^2)^2$
5	$8 \cdot 10^{-8} < D \leq 14 \cdot 10^{-8} (\text{м}/\text{с}^2)^2$
6	$14 \cdot 10^{-8} < D$

В настоящей работе, в соответствии с известной методикой [7], построены ковариационные функции аномального гравитационного поля Земли для каждого из перечисленных регионов. Значения этих функций приведены в таблице.

Как видно из данных таблицы, только для первых четырех регионов объем исходной информации достаточен для надежного вывода региональных ковариационных функций. Для вывода ковариационных функций 5 и 6 регионов, очевидно, необходима в пределах каждого из них более детальная информация, например, поле аномалий силы тяжести, отнесенных к центрам одноградусных трапеций.

Изучение полученных региональных ковариационных функций глобального аномального гравитационного поля Земли позволяет отметить их существенное различие, особенно по масштабному фактору, т. е. по дисперсии поля  $C_0$  при  $\psi=0$ . Для более детального анализа выполнено моделирование этих функций с помощью ряда аналитических выражений [7]. Исследования показали, что наиболее подходящими аналитическими выражениями для аппроксимации региональных ковариационных функций оказались: для 1—3 регионов

$$C(\psi) = C_0 e^{-\alpha \psi^3}, \quad (1)$$

**Региональные ковариационные функции аномального гравитационного поля Земли**

$\psi$	1 регион		2 регион		3 регион		4 регион		5 регион		6 регион	
	$C(\psi)$	число пар точек										
0	34,6	309	150,1	629	294,6	449	479,5	219	846,9	35	1827,8	13
2,5	9,8	161	53,6	240	165,5	150	473,0	75	1106,8	6	1912,4	5
7,5	5,9	946	32,0	1612	175,8	885	424,6	442	591,0	42	1244,0	21
12,5	3,3	1263	25,2	2269	93,5	1214	306,4	505	632,2	24	907,8	10
17,5	0,4	1509	13,9	2819	41,5	1500	218,3	499	657,4	27	—	—
22,5	-1,3	1674	12,8	3564	8,3	1868	83,4	580	101,7	26	—	—
27,5	-1,4	1873	6,2	4166	-5,1	2137	7,9	647	-307,0	28	—	—
32,5	-2,3	1951	-0,8	4698	-14,6	2437	-72,0	678	146,4	28	—	—
37,5	-2,3	2053	-1,2	5354	-12,8	2786	102,9	706	-210,9	26	—	—
42,5	0,3	2007	-5,8	5860	-3,3	3114	-70,3	753	-522,8	22	—	—
47,5	-0,3	2034	-3,5	6357	-6,2	3389	-53,2	886	-533,1	8	—	—
52,5	1,5	1999	-2,0	6718	-12,7	3471	-19,7	910	-782,8	7	—	—
57,5	2,4	1903	-6,4	7054	-17,0	3654	-28,5	967	-750,5	1	—	—
62,5	1,3	1850	-0,5	7371	-12,1	3811	-67,8	947	837,6	4	—	—
67,5	-0,8	1814	-2,8	7702	-7,6	3961	-87,2	920	439,6	14	—	—
72,5	0,8	1851	0,2	7850	3,5	4057	-98,2	901	-216,7	19	—	—
77,5	-0,7	1856	-3,0	8018	-1,2	4229	-97,0	829	-262,4	21	—	—
82,5	-1,1	1924	-0,2	8296	-4,2	4404	-92,9	726	-128,5	26	—	—
87,5	0,6	1921	0,7	8392	-11,9	4454	-65,1	674	-279,3	34	—	—
92,5	-0,3	1918	1,3	8349	-11,6	4429	-41,3	724	-425,0	29	—	—
97,5	-0,5	1881	2,8	8257	-1,1	4461	-3,4	846	-684,3	21	—	—
102,5	-1,7	1748	5,8	8264	7,6	4401	0,0	897	-866,2	18	—	—
107,5	-1,8	1585	2,7	8078	17,3	4142	41,3	935	-31,9	18	—	—
112,5	-0,5	1452	0,9	7952	30,5	3955	47,9	989	346,1	12	—	—
117,5	2,0	1254	-2,6	7634	28,8	3747	29,5	985	388,6	13	—	—
122,5	2,4	1125	-1,3	7403	26,9	3720	28,0	912	599,1	18	—	—
127,5	0,0	1033	-5,4	6877	8,7	3524	77,3	836	630,8	11	—	—
132,5	0,6	955	-4,7	6502	2,5	3235	100,3	753	795,5	5	—	—
137,5	-0,7	837	-2,1	5938	-3,9	2881	81,0	621	295,5	11	—	—
142,5	2,6	728	-0,3	5410	-6,2	2516	35,3	563	-158,9	26	—	—
147,5	3,0	599	-1,6	4731	-2,6	2029	6,2	502	9,4	18	—	—
152,5	0,0	496	-4,5	4074	7,9	1759	-46,2	475	-219,5	14	—	—
157,5	0,5	429	-7,2	3437	18,2	1469	-98,2	412	-478,5	12	—	—
162,5	-0,8	372	-8,9	2697	-4,7	1133	-112,1	350	-273,0	4	—	—
167,5	1,8	319	-4,9	2002	-21,1	914	-111,9	246	-394,0	2	—	—
172,5	-1,0	212	-12,2	1237	-33,9	586	-155,0	135	—	—	—	—
177,5	-2,1	54	-10,1	324	-39,8	154	-132,7	38	—	—	—	—

а для 4 региона

$$C(\psi) = C_0 \alpha \cos \beta \psi. \quad (2)$$

Ниже приведены значения параметров функций (1) и (2):

Регионы	$\alpha$	$\beta$
1	0,4621	0,7306
2	0,4798	0,5534
3	0,0751	1,0000
4	1,0	3,6846

На рис. 1—4 представлены графики эмпирических и модельных региональных ковариационных функций 1-4 регионов аномального гравитационного поля Земли.

Из анализа полученных результатов следует:

1. Статистические свойства поля аномалий силы тяжести 1 и 2 регионов обладают определенной общностью, о чем свидетельствует практическое совпадение параметров соответствующих модельных ковариационных функций  $\alpha$  и  $\beta$  и длины корреляции  $\xi$  (см. рис. 1 и 2). Различие в масштабном факторе  $C_0$  можно устранить с помощью нормирования [4], так что решение практических задач в пределах 1 и 2 регионов допустимо с использованием той же нормированной ковариационной функции аномалий силы тяжести вида (1) со средними для обоих регионов значениями параметров  $\alpha$  и  $\beta$ .

Рис. 1. Эмпирическая и модельная ковариационная функция 1-го региона аномального гравитационного поля Земли.

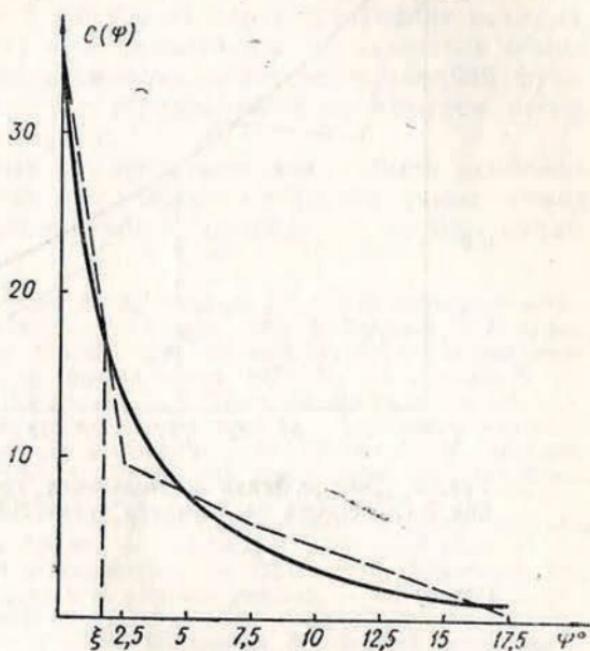


Рис. 1. Ковариационная функция 1-го региона аномального гравитационного поля Земли.

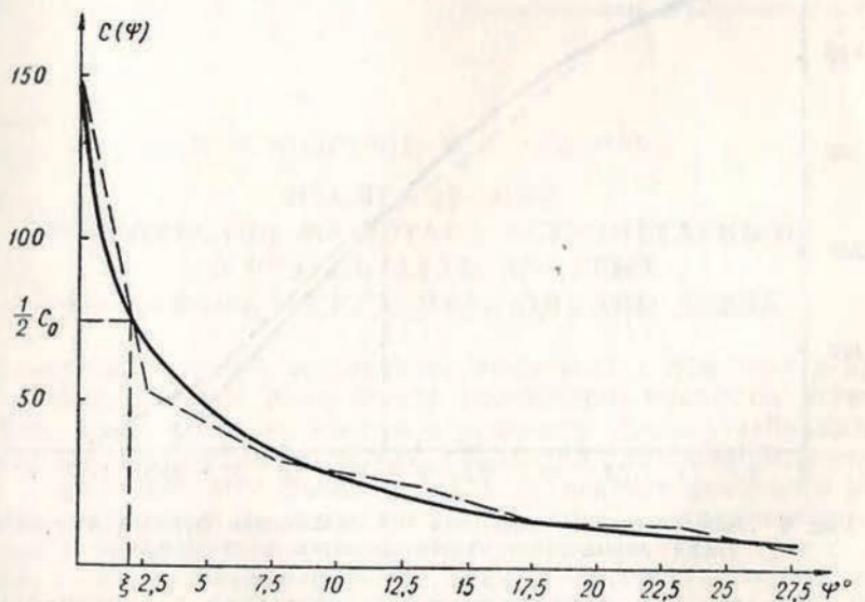


Рис. 2. Эмпирическая и модельная ковариационная функция 2-го региона аномального гравитационного поля Земли.

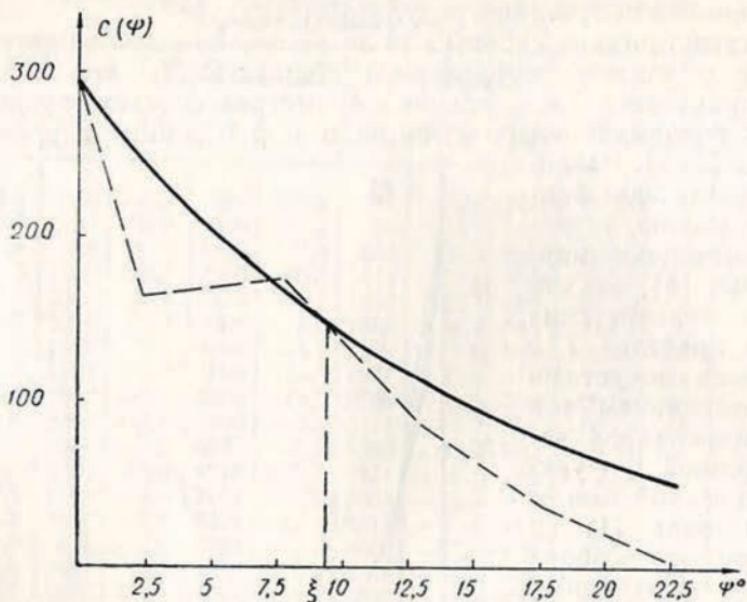


Рис. 3. Эмпирическая и модельная ковариационная функция 3-го региона аномального гравитационного поля Земли.

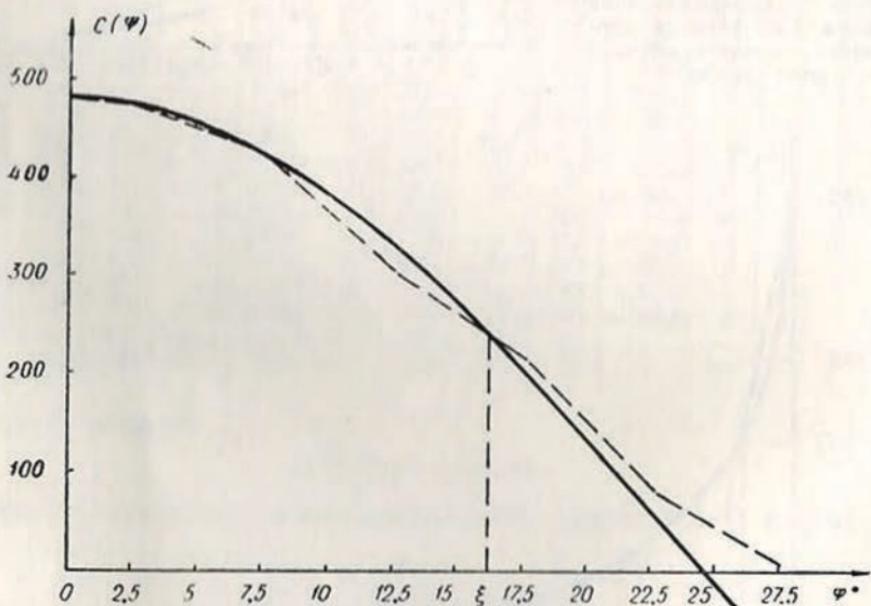


Рис. 4. Эмпирическая и модельная ковариационная функция 4-го региона аномального гравитационного поля Земли.

2. Регионы 3 и 4 глобального аномального гравитационного поля Земли резко отличаются по своим статистическим свойствам, как друг от друга, так и от 1 и 2 регионов. Поэтому при решении

практических задач в этих регионах необходимо либо пользоваться в пределах каждого из них соответствующей региональной ковариационной функцией, либо предварительно, путем выделения тренда из исходного поля аномалий силы тяжести этих регионов, получив остаточное поле со статистическими свойствами, близкими к свойствам регионов 1 и 2, построить соответствующие ковариационные функции вида (1) и в дальнейшем пользоваться общей для всех четырех регионов нормированной ковариационной функцией аномалий силы тяжести с усредненными по четырем регионам значениями параметров  $\alpha$  и  $\beta$ .

Результаты приведенных исследований могут быть использованы для прогноза аномалий силы тяжести в произвольных точках земной поверхности в соответствии с процедурой метода коллокации.

**Список литературы:** 1. Андреев Б. А., Клушин И. Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. — М.: Недра, 1965. 2. Берлянд Н. Г. О возможностях автокорреляционного анализа при изучении структуры гравитационного поля. — Изв. АН СССР, Сер. Физика Земли, 1971, № 1. 3. Зазуляк П. М., Лингер В. Е., Киричук В. В., Мещеряков Г. А. Поле дисперсий аномалий силы тяжести Земли и геологические структуры материков. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1982, вып. 36. 4. Лебедев С. В., Нейман Ю. М. Методика определения корреляционной функции аномального гравитационного поля Земли для локальных участков. — Геодезия, 1977, т. 1/41. 5. Пеллинен Л. П. Статистический анализ силы тяжести. — Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка, 1970, вып. 5. 6. Тектоносфера Земли. — М.: Недра, 1978. 7. Moritz H. Covariance functions in least-square collocation. — OSU, 1976, Report № 240. 8. Moritz H. The operational approach to physical geodesy. — OSU, 1978, Report № 227. 9. Rapp R. Potential coefficient determinations from 5° terrestrial gravity data. — OSU, 1978, Report, № 251. 10. Williamson M. Revised estimation of 550×550 km mean gravity anomalies. — Spec. Report SAO, 1977, № 377.