

Э. М. ЕВСЕЕВА, А. Д. БАКЛАШКО

О СТАТИСТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ АНОМАЛИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ С РЕЛЬЕФОМ В ГОРНЫХ ОБЛАСТЯХ

Корреляция аномалий силы тяжести с рельефом заметна при простом рассмотрении карт гравитационного поля и топографических. Статистически значимые коэффициенты корреляции между аномалиями силы тяжести в свободном воздухе $\Delta g_{\text{св.в}}$ и высотами рельефа h позволяют выражать зависимость $\Delta g_{\text{св.в}}$ и h в виде линейной регрессии

$$\Delta g_{\text{св.в}} = a + bh. \quad (1)$$

Первые исследователи зависимости (1) пришли к выводу о том, что параметры a и b имеют реальный физический смысл, который очевиден, если сравнить (1) с выражением аномалии Буге Δg_B [1]:

$$\Delta g = \Delta g_{\text{св.в}} - 2\pi f \delta h. \quad (2)$$

Коэффициент регрессии b представляет собой коэффициент редукции Буге $2\pi f \delta$, который при средней плотности пород, образующих рельеф, $2,67 \text{ г/см}^3$ равен $0,111 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$, а для моря — $0,068 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$; a — аномалия Буге. Чаще параметр a интерпретируют как среднюю в исследуемой области аномалию в неполной топографической редукции, ибо, как правило, при вычислении аномалий $\Delta g_{\text{св.в}}$ в горных районах в них вводится поправка за рельеф.

Многочисленные исследования зависимости (1) в разных районах земного шара показали, что параметр b изменяется в довольно широких пределах в зависимости от имеющейся исходной информации и способа ее представления. Причины вариации b объясняют следующим: 1) слишком обширной областью исследований и недостаточным количеством исходной информации по всему диапазону высот этой области [2]; 2) осуществлением изостатической компенсации топографических масс исследуемого района [4] либо несоответствием ее принятой гипотезе (локальная, а не региональная компенсация [2]); 3) изменением глубины изостатической компенсации в глобальном масштабе [8]; 4) статистическим, а не функциональным характером связи аномалий $\Delta g_{\text{св.в}}$ с высотами h , что объясняется «мешающим» влиянием геологических факторов — локальных и региональных плотностных неоднородностей в земной коре [5]. Что касается параметра a , то он медленно меняется в пределах небольшой области и зависит от средней высоты H_r в некоторой окрестности точки [2, 6].

В работах [2, 6, 7] отмечается, что при достаточно равномерной плотности исходной информации и небольшой области исследования величины параметров a и b полностью соответствуют вышеуказанному смыслу.

Последние исследования [3, 5, 8—10], в которых использованы более обширные данные, показали, что параметр b не всегда равен $0,111 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$. Во всяком случае в большинстве горных областей при различном представлении исходной информации (точечные данные, осредненные по площадкам разного размера: $1 \times 1^\circ$, $2 \times 2^\circ$, $5 \times 5^\circ$) коэффициент b чаще всего близок к значению $0,07 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$.

Учитывая вышензложенное, авторы статьи исследовали зависимость (1) в трех горных областях (Западных Альпах, Восточных и Западных Карпатах), используя при этом различным образом данную информацию.

Исходные данные на территории Западных Альп представлены точечными значениями $\Delta g_{\text{св.в}}$ и h достаточно равномерно по всему диапазону высот. На область Западных Карпат также имелась точечная информация, но с меньшей плотностью пунктов на разных

высотах. Восточные Карпаты представлены усредненными значениями $\Delta g_{\text{св.в.}}$ и h по площадкам $5 \times 7,5'$.

Сначала вычисляли коэффициенты корреляции для всех трех областей с учетом всей имеющейся информации. Коэффициенты $k_1=0,63$ (Западные Альпы), $k_2=0,56$ (Западные Карпаты), $k_3=0,58$ (Восточные Карпаты) и их значимость по критерию Романовского позволяют установить корреляционную зависимость между $\Delta g_{\text{св.в.}}$ и h во всех трех областях и составить соответствующие уравнения регрессии (1).

Затем исходную информацию усредняли по площадкам $10 \times 15'$, $20 \times 30'$, $1 \times 1^\circ$ и для каждого вида усреднения также составляли уравнения (1) (табл. 1).

Таблица 1
Результаты корреляционного анализа между $\Delta g_{\text{св.в.}}$ и h для различных усреднений

Размер площадки	Уравнения регрессии $a, \text{м} \cdot \text{с}^{-2}; b, \text{с}^{-2}$
Западные Альпы	
$10 \times 15'$	$\Delta g = (-71 + 0,06h) \times 10^{-5}$
$20 \times 30'$	$\Delta g = (-67 + 0,06h) \times 10^{-5}$
$1 \times 1^\circ$	$\Delta g = (-49 + 0,04h) \times 10^{-5}$
Весь массив ($h=900$)	$\Delta g = (-81 + 0,07h) \times 10^{-5}$
Западные Карпаты	
$10 \times 15'$	$\Delta g = (16 + 0,05h) \times 10^{-5}$
$20 \times 30'$	$\Delta g = (21 + 0,03h) \times 10^{-5}$
$1 \times 1^\circ$	$\Delta g = (22 + 0,03h) \times 10^{-5}$
Весь массив ($h=298$)	$\Delta g = (15 + 0,05h) \times 10^{-5}$
Восточные Карпаты	
$10 \times 15'$	$\Delta g = (-34 + 0,07h) \times 10^{-5}$
$20 \times 30'$	$\Delta g = (-28 + 0,06h) \times 10^{-5}$
$1 \times 1^\circ$	$\Delta g = (-29 + 0,06h) \times 10^{-5}$
Весь массив ($h=906$)	$\Delta g = (-29 + 0,06h) \times 10^{-5}$

Далее выполняли ранжирование высот через 100 м на территориях Восточных и Западных Карпат и через 500 м — на территории Западных Альп. В каждом диапазоне высот определяли средние значения $\Delta g_{\text{св.в.}}$ и h , по которым составляли уравнения вида (1), и по методу наименьших квадратов отыскивали значения a и b . Для соблюдения условия равномерной плотности пунктов по всему диапазону высот выполненное ранжирование усекалось до одинакового количества данных в каждом интервале высот и также определялись a и b . Результаты этих вычислений приведены в табл. 2.

И, наконец, исследование зависимости (1) выполняли с учетом тектонического районирования регионов. Для этого по имеющейся

Результаты корреляционного анализа между $\Delta g_{\text{с.п.}}$ и h для ранжированных данных

Область	Уравнения регрессии $a, \text{м}\cdot\text{с}^{-2}; b, \text{с}^{-2}$	
	Простое ранжирование	Усеченное ранжирование
Западные Альпы	$\Delta g = (-84 + 0,08h) \times 10^{-5};$	$\Delta g = (-72 + 0,08h) \times 10^{-5}$
Западные Карпаты	$\Delta g = (2 + 0,08h) \times 10^{-5};$	$\Delta g = (19 + 0,05h) \times 10^{-5}$
Восточные Карпаты	$\Delta g = (-25 + 0,06h) \times 10^{-5};$	$\Delta g = (-36 + 0,07h) \times 10^{-5}$

геологогеофизической информации в каждом регионе выделяли основные геоструктуры и для каждой из них вычисляли a и b (табл. 3).

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа между $\Delta g_{\text{с.п.}}$ и h для основных геоструктур регионов

Геоструктурные единицы	Уравнения регрессии $a, \text{м}\cdot\text{с}^{-2}; b, \text{с}^{-2}$
Альпы	
Складчатая область	$\Delta g = (-72 + 0,08h) \times 10^{-5}$
Западные Карпаты	
Чешский массив	$\Delta g = (10 + 0,11h) \times 10^{-5}$
Складчатая область	$\Delta g = (-1 + 0,07h) \times 10^{-5}$
Паннонский массив	$\Delta g = (-8 + 0,07h) \times 10^{-5}$
Восточные Карпаты	
Скибовая зона	$\Delta g = (-50 + 0,07h) \times 10^{-5}$
Кросненская зона	$\Delta g = (-30 + 0,02h) \times 10^{-5}$
Паркулецкий массив	$\Delta g = (-12 + 0,06h) \times 10^{-5}$

Анализируя результаты табл. 1, можно заключить, что коэффициент b в среднем близок к значению $0,06 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$. Исключения составляют Западные Карпаты, где он существенно ниже. Это обстоятельство можно объяснить слишком редкой сетью исходных данных по сравнению с двумя другими регионами. Максимальная степень усреднения ($1 \times 1^\circ$) существенно не меняет среднего значения коэффициента b . Параметр a испытывает незначительные изменения в пределах каждого региона.

Ранжирование данных (табл. 2) несколько повысило значение коэффициента b ($0,07 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$ в среднем), но и увеличило вариации параметра a .

Коэффициенты регрессии в уравнениях, полученных для геологических структур изучаемых областей, также остались в пределах $0,07 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$. Исключение составляют Кросненская зона

Восточных Карпат, где $b=0,02 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$ и Чешский массив Западных Карпат ($b=0,11 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$). Первое значение b можно объяснить близостью указанной зоны к изостатическому равновесию: средняя изостатическая аномалия Δg_i здесь около $+10 \times 10^{-5} \text{ м с}^{-2}$, второе, наоборот, существенным отклонением Чешского массива от изостатического равновесия $\Delta g_i = +62 \times 10^{-5} \text{ м с}^{-2}$.

Отличие среднего значения коэффициента b от общепринятого ($b=2\pi f\delta$) в исследуемых областях можно объяснить: статистическим, а не функциональным характером связи $\Delta g_{\text{св.в.}}$ и h , как отмечено в работе [5]; использованием в наших исследованиях усредненных данных, что не дает четкой зависимости между $\Delta g_{\text{св.в.}}$ и h ; близостью к изостатическому равновесию видимого рельефа исследуемых регионов (имеющиеся здесь нарушения связаны с плотностными неоднородностями в коре, не учитываемыми изостатическими схемами).

1. Грушинский Н. П. Теория фигуры Земли. — М.: Недра, 1976. — 512 с.
2. Евсеев С. В. О связи гравитационных аномалий с высотами рельефа. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1970, вып. 6, с. 60—63.
3. Евсеева Э. М., Зингер В. Е. О средних характеристиках гравитационного поля некоторых горных областей. — К., 1983. — 12 с. — Рукопись деп. в УкрНИИТИ, № 91/Ук-Д83.
4. Магницкий В. А. Внутреннее строение и физика Земли. — М.: Недра, 1965. — 380 с.
5. Процаенко С. В. К вопросу о связях гравитационных и магнитных аномалий с рельефом дна океана. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1981, вып. 5, с. 84—88.
6. Скуин Б. Л. Зависимость аномалий силы тяжести от высот в горной области. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1967, вып. 6, с. 87—92.
7. Таранов В. А. Зависимость аномалий силы тяжести от высоты при выводе средних гравиметрических характеристик больших площадей. — Тр. ЦНИИГАиК, 1962, вып. 145, с. 71—75.
8. Lachapelle G., Schwarz K. P. Empirical Determination of Gravity Anomaly Function in Mountainous Areas. — The Canadian Surveyor, September 1980, V. 34, N 3, p. 251—264.
9. Patel H. R. Prediction of Gravity Anomalies. — L. Inst. Eng. (India) Civ. Eng. Div, 1981, v. 61, № 5, p. 249—252.
10. Sünkel H., Malits R. Höhenkorrelation, Kovarianz-Funktion und Prädiction von Schwereanomalien in lokal begrenzten Gebieten Österreichs. — Vermessungswesen und Photogrammetrie, 1981, Bd. 69. Jahrgang Heft 1, S. 17—31.