

*И. Г. ВОВК, П. Д. ДВУЛИТ, А. С. СУЗДАЛЕВ*

## **ОЦЕНКИ ВАРИАЦИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ БАРОСТАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ РЕЛЬЕФА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Изучение временных вариаций гравитационного потенциала и вектора ускорения свободного падения неотделимо от изучения различных геодинимических процессов и явлений. В соответствии с классификацией геодинимических явлений по характеру проявления в пространстве и времени различают глобальные, региональные, крупномасштабные, локальные, вековые, годовичные, месячные, суточные, полусуточные и нерегулярные пространственно-временные вариации гравитационного поля (ВГП). Такая классификация позволяет при изучении и анализе этих явлений соответственно ограничивать размеры области изучения, длительность временных рядов наблюдений и их частоту.

Для правильной интерпретации и прогноза влияния геодинимических явлений на ВГП необходимо выявить наиболее общие причины, вызывающие эти вариации и обусловленные различными геодинимическими явлениями. Считается, что ВГП обусловлены тремя основными причинами: действием космических

тел; перераспределением масс внутри Земли; изменением положения Земли относительно центра ее масс.

В соответствии с этим возмущающий потенциал  $\Delta W$  и вектор аномалий ускорения свободного падения  $\Delta \bar{g}$  в точке пространства  $P(x_p, y_p, z_p)$  в момент времени  $t$  можно представить в виде

$$\begin{aligned}\Delta W(P, t) &= \Delta W_1(P, t) + \Delta W_2(P, t) + \Delta W_3(P, t), \\ \Delta \bar{g}(P, t) &= \Delta \bar{g}_1(P, t) + \Delta \bar{g}_2(P, t) + \Delta \bar{g}_3(P, t),\end{aligned}\quad (1)$$

где индексами 1, 2, 3 обозначены возмущения гравитационного поля Земли, вызванные тремя перечисленными причинами.

Разнородные геодинамические процессы проявляются в изменениях поля ускорения свободного падения совместно, разделить их влияние удастся не всегда и данный факт необходимо учитывать при анализе геодинамических исследований и интерпретации результатов повторных геодезических, астрономо-геодезических и гравиметрических измерений. Поэтому большое значение приобретает разработка методов оценки и учета влияния разнообразных геодинамических явлений на эволюцию гравитационного поля Земли. Для этого необходимо установить функциональную связь между параметрами гравитационного поля Земли и различными геодинамическими явлениями, т. е. построить математическую модель:

$$F = F(\bar{u}, \bar{v}, \Delta W, \Delta \bar{g}),\quad (2)$$

где  $\bar{u}, \bar{v}$  — векторы управляемых и неуправляемых параметров модели.

Модели вида (2) необходимо построить для каждого источника возмущения гравитационного поля.

В дальнейшем мы будем рассматривать только составляющую ВГП, которая связана с изменением гравитационного потенциала и вектора ускорения свободного падения во времени, обусловленным перемещением водных масс морей и океанов. Эти перемещения вызываются гравитационным притяжением космических тел (Луны, Солнца), атмосферными и океаническими процессами.

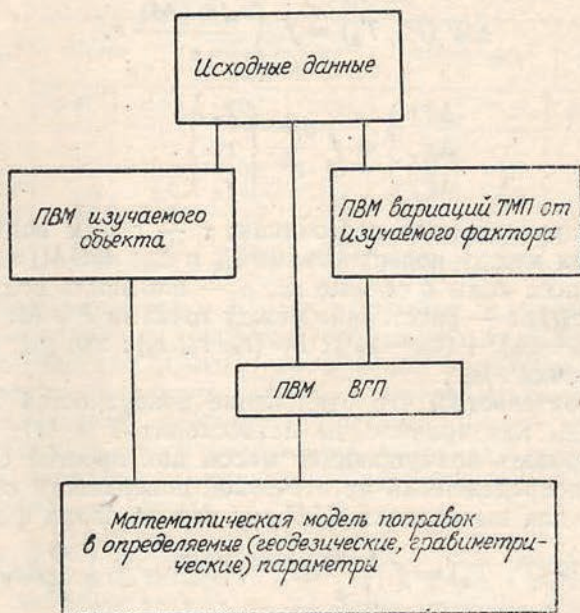
Непосредственное раздельное определение влияния этих факторов на результаты геодезических, гравиметрических измерений невозможно. Поэтому единственным путем решения данной задачи является математическое моделирование динамики рельефа морской поверхности (обусловленной конкретным фактором), соответствующих пространственно-временных ВГП и их влияния на результаты конкретных измерений (геодезических, гравиметрических).

Блок-схема решения этой задачи представлена на рисунке.

Так, в [2] данный метод применен для математического моделирования динамики рельефа морской поверхности, обусловленной лунно-солнечными приливами, а также для математического моделирования соответствующих динамике вариаций гра-

витационного поля и их влияния на результаты геометрического нивелирования.

Нас же интересуют ВГП, обусловленные влиянием атмосферы на динамику рельефа поверхности Мирового океана. Атмосферные процессы влияют на подавляющее большинство процессов в океане, которые приводят к изменению его поверхности. Выделение колебаний рельефа поверхности океана атмосферного происхождения в достаточной степени условно. Прямое



Блок-схема построения математической модели.

воздействие атмосферы на поверхность океана вызывает ветровые волны и зыбь, сгонно-нагонные явления и баростатические колебания. Все эти колебания не оказывают заметного влияния на крупномасштабную циркуляцию Мирового океана и носят нерегулярный характер. В свою очередь нерегулярные колебания рельефа морской поверхности вызывают нерегулярные вариации гравитационного поля Земли [1].

В дальнейшем мы будем рассматривать влияние на ВГП только баростатической составляющей рельефа морской поверхности. В общем случае реакцию поверхности океана на изменившееся атмосферное давление выражаем равенством [1]

$$\Delta h = K_a \Delta P_a, \quad (3)$$

где  $\Delta h$  — изменение высоты морской поверхности;  $\Delta P_a$  — изменение атмосферного давления;  $K_a$  — барометрический фактор ( $K_a = 0,99$  см/мбар).

Гидростатическое приближение, при котором изменения атмосферного давления полностью компенсируются колебаниями

уровня по схеме (3) с постоянным значением  $K_a$ , равным его статическому значению  $K_a = 0,99$  см/мбар, называют приближением, или законом «обратного барометра». Именно в рамках данного приближения мы в дальнейшем оценим значения баростатического ВГП.

Оценка ВГП в точке  $P(x_p, y_p, z_p)$ , обусловленной водными массами, заключенными между поверхностями  $\Sigma_0$  в момент  $T_0$  и  $\Sigma_k$  в моменты  $T_k$  ( $k=1, Q$ ), можно выполнить по формулам

$$\Delta W(P, T_k) = f \int_{\tau} \frac{dm(M)}{\tau} r, \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta g_x \\ \Delta g_y \\ \Delta g_z \end{array} \right\} = f \frac{dm}{r^3} \left\{ \begin{array}{l} r_x \\ r_y \\ r_z \end{array} \right\},$$

где  $f$  — гравитационная постоянная;  $\tau$  — объем водных масс, заключенных между поверхностями  $\Sigma_0$  и  $\Sigma_k$ ;  $dm(M) = \rho(x_M, y_M, z_M) d\tau$  — масса воды в объеме  $d\tau$ ;  $\rho$  — плотность воды в точке  $M(x_M, y_M, z_M)$ ;  $r$  — расстояние между точками  $P$  и  $M$ ;  $r^2 = (x_M - x_p)^2 + (y_M - y_p)^2 + (z_M - z_p)^2$ ;  $\bar{r} = \{r_x, r_y, r_z\}$ ;  $x_M, y_M, z_M$  — координаты точки  $M \in \tau$ .

То обстоятельство, что отклонение поверхностей  $\Sigma_k$  от поверхности  $\Sigma_0$ , как правило, не превосходит 2 м [1], позволяет интерпретировать возмущающие массы как простой слой плотности  $\Phi$ , распределенный на отсчетной поверхности  $\sigma$ . Поэтому вместо (4) для вычисления ВГП мы использовали формулы

$$\Delta W(P, T_k) = f \int_{\sigma} \frac{\Phi}{r} d\sigma, \quad |\Delta \bar{g}| = f \int_{\sigma} \frac{\Phi}{r^2} d\sigma,$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta g_x \\ \Delta g_y \\ \Delta g_z \end{array} \right\} = \frac{|\Delta \bar{g}|}{r} \left\{ \begin{array}{l} r_x \\ r_y \\ r_z \end{array} \right\} = f \int_{\sigma} \frac{\Phi}{r^3} \left\{ \begin{array}{l} r_x \\ r_y \\ r_z \end{array} \right\} d\sigma. \quad (5)$$

Плотность простого слоя  $\Phi(M, T_k)$  определяется из условия

$$dm = \Phi d\sigma, \quad (6)$$

и численно составляет

$$\Phi(M, T_k) = q(\Sigma(M, T_k) - \Sigma(M, T_0)), \quad (7)$$

где  $q$  — плотность морской воды.

Таким образом, если известна динамика морской поверхности, то известна также плотность  $\Phi$ , и задача сводится к вычислению интеграла (5). Функция координат и времени  $\Delta W(P, T_k)$  задает математическую пространственно-временную модель вариаций гравитационного потенциала, обусловленных динамикой морской поверхности от конкретного возмущающего фактора.

Исходная информация о рельефе морской поверхности получена, исходя из закона «обратного барометра», по данным из синоптического бюллетеня [3] на две даты 01 и 28 января 1982 г. в узлах сетки, совпадающих с вершинами сферических трапеций. Значения  $\Delta W$  и  $\Delta \bar{q}$  оценивались по формулам (5). Результаты приведены в таблице. Данные таблицы позволяют

**Вариации потенциала  $\Delta W$  и вектора ускорения свободного падения  $\Delta g$**

Характеристики	Пункты							
	Охотск		Петропавловск-Камчатский		Хабаровск		Владивосток	
	28.01	01.01	28.01	01.01	28.01	01.01	28.01	01.01
$\Delta W/\gamma$ , мм	0,3	0,9	0,2	1,3	0,6	1,1	0,8	1,3
$ \Delta g $ , $10^{-8}$ м·с <sup>-2</sup>	4,2	5,6	4,3	5,2	2,7	4,3	9,5	10,5
$\Delta g_x$ , $10^{-8}$ м·с <sup>-2</sup>	-3,3	-4,5	1,2	-3,5	-1,9	-3,3	-6,0	-7,3
$\Delta g_y$ , $10^{-8}$ м·с <sup>-2</sup>	1,2	0,7	4,1	0,3	0,2	-1,1	2,2	1,0
$\Delta g_z$ , $10^{-8}$ м·с <sup>-2</sup>	-2,2	-3,2	-0,4	-3,8	-1,9	-2,5	-7,0	-7,4

получить представление о пространственных и временных вариациях потенциала и ускорения свободного падения, вызванных баростатическим изменением морской поверхности.

Учитывая, что вариации находятся на границе точности современных измерений, необходимо провести более тщательное исследование. Для этого необходимо увеличить густоту пунктов оценки вариаций и уменьшить интервал времени между оценками в каждом пункте.

1. Иванов С. С. Переменное гравитационное поле океана. М., 1987.
2. Оценка вариаций гравитационного поля (ВГП), вызванных океаническими приливами, и анализ их влияния на результаты геометрического нивелирования в условиях восточного побережья полуострова Камчатка. Новосибирск, 1988.
3. Синоптический бюллетень. Северное полушарие. Обнинск, 1983.