

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ОТ ВЫСОТЫ

Зависимость силы тяжести от высоты исследовали многие ученые как в нашей стране, так и за рубежом.

Численное изменение силы тяжести по вертикали, или вертикальный градиент силы тяжести $\frac{d^2 W}{dz^2} = \frac{dg}{dz}$, имеет большое значение для геодезии, геофизики и геологии.

Исследования ученых в этой области велись как по пути теоретического определения значения вертикального градиента по аномалиям силы тяжести, так и по пути непосредственного измерения величины $\frac{dg}{dz}$ с помощью специальных приборов.

Разработкой этих вопросов начали заниматься в конце прошлого столетия.

Теоретически вычисленный вертикальный градиент силы тяжести, или так называемый нормальный вертикальный градиент, для средней широты равняется 0,3086 мгал/м (приближенно $\frac{dg}{dz} \approx \frac{2\gamma}{R}$). Для вычисления его используется γ — нор:

мальное значение силы тяжести, определяемое по формуле Гельмерта $\gamma = 978,030(1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi)$. Этот путь определения вертикального градиента называется косвенным.

Прямой метод определения вертикального градиента силы тяжести основан на принципе взвешивания груза на различных высотах при помощи весов Джолли. Приборы по определению второй производной потенциала силы тяжести по нормали очень чувствительны к наклону и близлежащим массам.

Теоретические основы приборов для измерения $\frac{d^2 W}{dz^2}$, базирующихся на применении крутильных весов, разработаны Этвешом и Берротом. Однако их использование в полевых условиях связано с большими трудностями.

С появлением высокоточных гравиметров предложено использовать их для определения $\frac{dg}{dz}$, измеряя силу тяжести в двух точках, расположенных на одной вертикали. Первые работы в этой области проделаны Хаммером [7] и Тиссенем [8]. Сейчас в этом направлении также проводятся работы, главным образом измеряется сила тяжести на разных этапах высотных зданий.

Так, Хаммер выполнил измерения силы тяжести гравиметром на пяти высотных зданиях Питсбурга, Вашингтона и Нью-Йорка. Применяемый при измерениях гравиметр был сильно подвержен влиянию магнитного поля, значительным было влияние высотных зданий и окружающих масс. Погрешности, возникающие вследствие этих влияний, оказались значительными при малой разности высот. С увеличением разности высот они уменьшаются и достигается высокая точность определения вертикального градиента.

Наблюдения Тиссена выполнены для малых разностей высот пунктов. Результаты получились ненадежными, поскольку в большинстве случаев измеряемые величины Δg были значительно меньше точности измерений.

На Кавказе и на побережье Черного моря Б. К. Балавадзе [1] определил вертикальный градиент по измерениям силы тяжести гравиметром в двух точках, расположенных по вертикали на специально построенных вышках. Для этих же пунктов вычислен вертикальный градиент по карте аномалии силы тяжести с применением палеток Маловичко и Гофмана. Результаты вычислений по палеткам очень хорошо согласуются.

Значения вертикальных градиентов, полученные из наблюдений гравиметром, в несколько раз больше вычисленных, расхождения достигают 200 этвеш.

Б. К. Балавадзе считает, что эту разницу следует отнести на счет поверхностных масс и что измеренные значения вертикального градиента неприемлемы для геодезических целей, так

как в них преобладает влияние поверхностных аномальных масс.

Зависимость аномалий силы тяжести от высоты в некоторой области можно определить [2] из уравнений вида

$$a + b \cdot h = \Delta g, \quad (1)$$

где Δg — аномалия силы тяжести в некоторой точке; h — высота этой точки над уровнем моря; a — средняя аномалия для данной области; b — коэффициент зависимости аномалий силы тяжести от высоты. Параметры a и b принимаем постоянными для некоторой области и определяем их из решения уравнений вида (1), где Δg и h — известные величины.

Используя наблюдения на Кавказе, в горных районах Средней Азии и другие, С. В. Евсеев получил для b числовые значения 0,10 и 0,11 мгал/м. По результатам обработки около двух тысяч наблюдений в горном районе Б. Л. Скуин [5] получил $b = 0,106$ мгал/м. К таким же цифровым показателям пришли Уотила [9], Таранов [6] и др.

Этим же методом мы определяли значение b , решая уравнения вида (1). Для вычислений использовался материал нивелирно-гравиметрических ходов, проложенных в Карпатах от подножия до вершины горы [4]. Разность отметок начальной и конечной точек нивелирных ходов равна соответственно 1200, 515 и 290 м. Гравиметрические пункты распределены по этим ходам равномерно по высотам. В результате вычислений получено значение $b = 0,098$ мгал/м.

По материалам этих же нивелирно-гравиметрических ходов определяли коэффициент зависимости силы тяжести от высоты $\frac{dg}{dn} = k$ по геопотенциалу, исходя из теоретических исследований Н. К. Мигаля [3]. Коэффициент зависимости силы тяжести от высоты вычисляли по формуле [4]

$$\frac{dg}{dn} h_A = \frac{1}{h_A} \sum_{i=1}^{i=A} (\Delta G_i + \Delta G_{i+1}) \Delta h_i - 2\Delta G_A, \quad (2)$$

где ΔG_i и ΔG_{i+1} — приращения силы тяжести, измеренные гравиметром, в i -й и $i+1$ -й точках от исходной марки; Δh_i — превышение между этими точками, определенные из нивелирования; ΔG_A , h_A — соответственно приращение силы тяжести и превышение текущей точки A над исходной маркой. Причем в измеренные гравиметром приращения силы тяжести никакие редукции не вводились. Вычисления выполняли по измеренным приращениям силы тяжести и высот. Для трех независимых, но близко расположенных нивелирно-гравиметрических ходов [4], значения k равны 0,214, 0,204 и 0,197 мгал/м. Среднее из трех значений $k = 0,205$ мгал/м.

Для сравнения численных величин k и b мы исходили из следующих соображений. Если от значения нормального вер-

тикального градиента 0,3086 мгал/м отнять коэффициент зависимости аномалий силы тяжести от высоты b , то получим k — коэффициент зависимости силы тяжести от высоты на физической поверхности Земли.

Запишем формулу, представляющую аномалию в свободном воздухе, $\Delta g = a + bh$ в следующем виде:

$$g - \gamma + 0,3086 \cdot h = a + b \cdot h, \quad (3)$$

или

$$g = \gamma - (0,3086 - b) \cdot h + a. \quad (4)$$

Обозначим $0,3086 - b = k$. Таким образом, принимая $b = 0,100 - 0,106$ мгал/м, согласно исследованиям названных авторов, получаем $k = 0,209 - 0,203$ мгал/м. Тогда $k_{\text{ср}} = 0,206$ мгал/м.

Полученный нами непосредственно из измерений коэффициент зависимости силы тяжести от высоты $k = 0,205$ мгал/м хорошо согласуется с коэффициентом, определенным по аномалиям силы тяжести названными выше авторами.

Список литературы: 1. Балавадзе Б. К. Гравитационное поле и строение земной коры в Грузии. — Тбилиси, 1957. 2. Евсеев С. В. О некоторых закономерностях гравитационного поля Земли и их значении для геодезии и геофизики. — Киев, 1957. 3. Мигаль Н. К. Несколько слов об основных проблемах теории фигуры Земли. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1965, вып. 3. 4. Илькин Р. Р. Опыт определения вертикального градиента силы тяжести по геопотенциалу. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1972, вып. 15. 5. Скуин Б. Л. Зависимость аномалий силы тяжести от высот в горной области. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1967, вып. 6. 6. Таранов В. А. Зависимость аномалий силы тяжести от высоты при выводе средних гравиметрических характеристик. — Тр. ЦНИИГАиК, 1962, вып. 145. 7. Hammer S. Investigation of the vertical gradients of gravity. Trans. Amer. Geophys. Un., 1938. 8. Thissen St. Über die Möglichkeit den vertikalen Schweregradienten mit dem Gravimeter zu messen. Beitrag Z. ang. Geophys., 1944. 9. Voita. Determination of the Shape of the Geoid. Mapp. and charting Research Labor, The Ohio St. Universitu, 1957, N 7.