

УДК 528.2:551:51

И. Н. ГУДЗ, П. Д. ДВУЛИТ

О ВЛИЯНИИ АТМОСФЕРЫ НА СИЛУ ТЯЖЕСТИ И ЕЕ ПОТЕНЦИАЛ В ТОЧКАХ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Среди многих факторов, воздействующих на элементы гравитационного поля Земли, немаловажную роль играют окружающие Землю аномальные атмосферные массы. В настоящее время все большее значение приобретает вопрос изучения гравитационного поля Земли, точнее изучения сравнительно малых его вариаций. Любые исследования в этом направлении, а тем более исследования, дающие возможность уточнять элементы гравитационного поля посредством учета влияния на них отдельных факторов, и в частности влияния возмущенного состояния атмосферы, являются, на наш взгляд, довольно актуальными.

Попыткой такого рода следует считать работу [1]. Приняв Землю за твердое тело, высоту аномальных атмосферных масс, окружающих земную поверхность, равную десяти километрам и считая, что плотность этих масс изменяется с высотой по линейному закону, причем на высоте $H = 10$ км она равняется нулю, автор нашел сравнительно простые и удобные для вычислений формулы, по которым можно получить численную характеристику влияния атмосферных масс на силу тяжести, ее потенциал и отклонения отвеса в любой точке земной поверхности. При этом окружающие Землю атмосферные массы вокруг точки, для которой производился подсчет, подразделялись на зоны — центральную, ближайшую и дальнюю. Для каждой такой зоны подсчитывалась величина их влияния на указанные элементы гравитационного поля. Очевидно, окончательная величина этого влияния представляла собой сумму соответствующих значений отдельных зон. В работе [1] приводятся результаты вычислений горизонтальных составляющих притяжения аномальных атмосферных масс в плоскости меридиана и в плоскости первого вертикала, вертикальной составляющей притяжения этих же масс, а также деформации геоида для одной точки земной поверхности, причем вычисления были произведены для 90 дат (с 1 января по 31 марта 1958 года). Из помещенной в [1] таблицы результатов вычислений видно, что в исследуемом пункте земной поверхности за указанное время деформация геоида колеблется от $-1,17$ до $+1,39$ см, то есть составляет приблизительно 2,6 см; сила тяжести и уклонение отвеса изменяют свое значение в диапазоне соответственно $0,02$ мгал и $0,01''$. Как видно, полученные здесь величины являются непренебрегаемыми, все они находятся в пределах современной точности их определений, следовательно, они должны быть учтены в результатах соответствующих измерений. Так, данные о деформации геоида, вызванные влиянием аномальных атмосферных масс, по-видимому, следует учитывать при обработке высокоточного нивелирования, на что также указывается и в работах [2, 3, 4].

Если формулы в [1] довольно просты и применение их на практике не связано с особыми трудностями, то сами вычисления для определения рассматриваемых элементов гравитационного поля для одной только точки

земной поверхности довольно объемистые и потребуют значительной затраты времени. Самый трудоемкий процесс — проведение вычислений, относящихся к дальним зонам. Поэтому, учитывая принятую в данной работе методику вычислений, интересно выявить степень влияния на указанные элементы каждой зоны в отдельности; произвести их оценку, и в случае незначительного влияния дальних зон не учитывать их, тем самым значительно сократив объем вычислительных работ.

Исходя из этого, для исследования был выбран ряд точек земной поверхности, расположенных через 20° по широте и долготе; всего 144 точки*. Как и в [1], основным материалом для исследования послужила карта погоды мира на 1 января 1958 года помещенная в «Метеорологическом бюллетене» Центрального института прогнозов за январь 1958 года. Масштаб карты $1 : 82\,000\,000$ (по параллели с широтой $\varphi = 45^\circ$), долгота среднего (прямолинейного) меридиана $\lambda = 40^\circ E$, проекция — поликоническая. По данным этой карты в специальную ведомость выписывались для каждой точки величины аномального атмосферного давления, полученные как средние в трапеции размером $10 \times 10^\circ$. Затем эти данные переносили на глобус, на котором с помощью сферической палетки с меридианами и параллелями той же частоты учитывали влияние дальних зон. Таким образом, в сферической палетке имелось 17 сферических колец, каждое из которых состояло из 36 трапеций.

Влияние атмосферы центральной и ближайшей зон учитывается с помощью специальных плоских палеток. Так как область этих зон небольшая и измеряется сферическим расстоянием соответственно $0^\circ 54'$ и 10° , то учет влияния атмосферы этих зон на указанной карте затруднителен из-за ее мелкого масштаба. Так, например, в данном случае радиусы палетки для центральной и ближайшей зон были бы равны соответственно немногим более 1 мм и 1 см. С целью увеличения размера палетки, а тем самым и увеличения точности определений по ним, для учета влияния центральной и ближайшей зон в нашем случае были приняты карты погоды мира МПК-6, составленные Научно-редакционной картосоставительской частью ГУГК в масштабе $1 : 30\,000\,000$. Проекция карты — стереографическая полярная, главный масштаб по параллели с широтой $\varphi = 60^\circ$.

На карту МПК-6 с упомянутой карты погоды мира методом переписки по клеткам были перенесены приведенные к уровню моря кривые одинакового давления. При расчете радиусов палеток для каждой конкретной параллели мы приняли во внимание присущий ей частный масштаб. Таким образом, были построены четыре палетки, причем для более точного определения по карте соответствующих величин атмосферного давления каждую палетку разделили еще на три сферических кольца, не считая ее центральной части. Радиусы этих колец равнялись соответственно 300, 700 и 1000 км, радиус центральной части — 100 км. Число трапеций в каждом кольце — 16.

Метод учета аномального атмосферного давления с помощью палеток довольно прост. Центр палеток совмещался на карте и глобусе с исследуемой точкой и для каждой трапеции в кольце определялось h — среднее аномальное атмосферное давление. Затем, используя из [1] формулы для потенциала притяжения и силы тяжести центральной зоны

$$\left. \begin{aligned} V &= 2\pi fhD r_0 \left(1 - \frac{1}{3} \frac{H}{r_0}\right), \\ \delta g &= -2\pi fhD \left(1 - \frac{1}{2} \frac{r_0}{R} - \frac{1}{3} \frac{H}{r_0}\right), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

* Широты точек: $\pm 10, \pm 30, \pm 50, \pm 70^\circ$; долготы точек: $0, \pm 20, \pm 40, \pm 60^\circ$ и т. д. Здесь северным широтам и восточным долготам приписан знак плюс, южным широтам и западным долготам — знак минус.

ближайшей и дальней зон

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{4\pi f R h D}{n} \left(\sin \frac{\psi_2}{2} - \sin \frac{\psi_1}{2} \right), \\ \delta g &= \frac{2\pi f h D}{n} \left(\sin \frac{\psi_2}{2} - \sin \frac{\psi_1}{2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

определяли значения деформации геоида и силы тяжести в исследуемой точке за влияние атмосферы этих зон. Величину деформации геоида находили из выражения

$$d = \frac{V}{g}. \quad (3)$$

В этих формулах f — гравитационная постоянная, равная $6,7 \times 10^{-8} \text{ см}^3/\text{г} \cdot \text{сек}^2$, h — среднее аномальное атмосферное давление в трапеции, D — плотность ртути, равная $13,6 \text{ г/см}^3$, r_0 — радиус центральной зоны, равный 100 км , H — высота атмосферы, равная 10 км , R — средний радиус Земли, равный $6371 \cdot 10^5 \text{ см}$, n — количество трапеций в сферическом кольце, ψ — сферическое расстояние от исследуемой до текущей точки.

Используя формулы (1) — (3), мы определили значения d_1 , d_2 , d_3 и δg_1 , δg_2 , δg_3 , выражающие деформацию геоида и поправки в силу тяжести за влияние аномальных атмосферных масс центральной, ближайшей и дальней зон для указанных 144 точек земной поверхности. Суммарные выражения d и δg из указанных величин будут их окончательным значением.

По результатам вычислений оценили влияние каждой из зон, причем отдельно на деформацию геоида и отдельно на силу тяжести. Оказалось, что на деформацию геоида сильно влияют аномальные атмосферные массы ближайшей и дальней зон, то есть зон со значением соответственно $\psi = 0^\circ 54' - 10^\circ$ и $\psi = 10 - 180^\circ$. Так, если влияние атмосферы центральной зоны на деформацию геоида в большинстве случаев дает величину $1 - 5 \cdot 10^{-2} \text{ см}$, и лишь для отдельных точек (10 из 129) деформация достигает $\pm 10 - 14 \cdot 10^{-2} \text{ см}$, то атмосферные массы ближайшей и дальней зон, каждая в отдельности, дают величину на порядок выше и достигают более $200 \cdot 10^{-2} \text{ см}$. Атмосферные массы обеих последних зон оказывают примерно одинаковое влияние на деформацию геоида. Окончательная деформация для ряда точек достигает величины $240 \cdot 10^{-2} \text{ см}$. Характерно, что в северном полушарии $3/4$ составляют положительные деформации, а для точек южного полушария все значения деформации отрицательные.

Итак, на деформацию геоида самое большое влияние оказывают атмосферные массы ближайшей и дальней зон, и это влияние можно определить с помощью плоской и сферической палеток; поскольку влияние атмосферы центральной зоны незначительное, то в данном случае его можно не учитывать.

Рассматривая степень влияния атмосферы на величину силы тяжести, приходим к выводу, что для всех рассматриваемых точек самое большое влияние оказывают атмосферные массы центральной зоны, что дает поправку в силу тяжести $100 - 150 \cdot 10^{-4} \text{ мгал}$; влияние же ближайшей и дальней зон можно здесь не учитывать, поскольку оно незначительно (поправка в силу тяжести характеризуется в данном случае величинами в среднем $3 - 4 \cdot 10^{-4} \text{ мгал}$ и лишь для 28 точек из 144, и то для точек южного полушария, их величина находится в границах $10 - 14 \cdot 10^{-4} \text{ мгал}$). Как и в предыдущем случае, в южном полушарии в этих зонах также преобладают отрицательные величины.

Таким образом, при учете влияния аномальных атмосферных масс на силу тяжести достаточно ограничиться только одной центральной зоной.

Конечно, предположение в [1] о линейном изменении плотности атмосферных масс с высотой довольно условно и приближенно, как условно и то, что мы приняли высоту атмосферы равной десяти километрам и плотность на этой высоте равной нулю. По имеющимся данным, она составляет приближенно $1/3$ плотности атмосферных масс на уровне моря. В связи с этим полученные здесь результаты следует считать такими, которые лишь в первом приближении характеризуют степень влияния возмущенного состояния атмосферы на названные элементы гравитационного поля Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзулит П. Д. Влияние атмосферных масс на гравитационное поле Земли. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 5, Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1966.
2. Леонтьев Г. И. Временные атмосферные и водные нагрузки на земной поверхности и их влияние на высокоточное нивелирование в Нижнем Поволжье. В сб. «Современные движения земной коры», № 1, Изд-во АН СССР, М., 1963.
3. Мещеряков Ю. А. Современные вертикальные движения земной коры. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 123, Изд-во геодезич. литер., М., 1958.
4. Синягина М. И. Анализ результатов нивелирования I класса Советского Союза. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 144, Геодезиздат, М., 1957.

Работа поступила 1 февраля 1971 года.
Рекомендована кафедрой высшей геодезии и гравиметрии
Львовского политехнического института.
