

П. Д. ДВУЛИТ, П. В. ПАВЛИВ

О КОМПЛЕКСНОМ ИЗУЧЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ИЗМЕНЕНИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

В работе [12, с. 9] отмечено, «что взаимная зависимость изменения силы тяжести и нивелирных превышений осложняет обработку результатов повторного геометрического нивелирования и интерпретацию повторных гравиметрических наблюдений». При изучении движений земной коры дополнительными сведениями могут быть данные о неприливных изменениях силы тяжести [2]. К ложным выводам о неприливных изменениях силы тяжести можно прийти, если не точно рассчитать приливные поправки, на что указано в [11, 12]. Поэтому необходимо комплексное изучение изменений гравитационного поля и вертикальных движений земной коры. Несомненно, важно выяснить, какой вклад в измеряемые нивелирные превышения вносят неприливные изменения силы тяжести. На измеряемые нивелирные превышения оказывают воздействие ошибки собственно нивелирования. В действующих инструкциях подчеркнуто, что точность нивелирования I класса должна характеризоваться случайной средней квадратической ошибкой $\eta = 0,5$ мм/км. Однако анализ результатов такого же нивелирования, исполненного после 1950 года, т. е. за последние десятилетия, показал, что величина $\frac{1}{\eta}$ составляет 0,66 мм/км. Она получена по разностям превышений прямых и обратных нивелирных ходов, соответствующим внутренней сходимости измерений. При оценке того же нивелирования по невязкам полигонов указанная характеристика составила 1,7 мм/км [7]. Соответственно в связи с влиянием ошибок повторного нивелирования при определении современных движений земной коры (СДЗК) указанные выше характеристики точности возрастают в $\sqrt{2}$ раз, т. е. общее влияние ошибок предыдущего и повторного нивелирований составит 2,4 мм/км. Аналогичные результаты получены при анализе других производственных материалов [7]. Выполненные нами теоретические исследования [7] показывают, что точность рассматриваемого класса нивелирования должна быть значительно выше и это повышение возможно. Специальные экспериментальные исследования, выполненные по методике, исключающей влияние таких лимитирующих источников ошибок, как нивелирная рефракция, неустойчивость костылей, невертикальность нивелирных реек во время отсчетов, показали, что кроме названных действуют еще и другие недостаточно изученные источники [8]. К ним в первую очередь следует отнести неприливные изменения силы тяжести.

Изменение $\delta(W_0 - W_A)$ разности потенциалов ускорения свободного времени, обусловленное как изменениями $\delta\Delta h$ нивелирных превышений, так и изменениями δg ускорения свободного падения, можно выразить следующей зависимостью:

$$\delta(W_0 - W_A) = \sum_{(OA)} (\delta g \Delta h + g \delta \Delta h).$$

Очевидно, что на изменение разности потенциалов большее влияние будет оказывать второй член этого выражения. Однако при проведении высокоточных повторных гравиметрических и нивелирований

Максимально возможные влияния атмосферных процессов, гидрологического режима и других факторов на характеристики гравитационного поля Земли

Характеристика гравитационного поля Земли	Возмущающие факторы				
	переменные атмосферные массы	наличие снежного покрова	изменение уровня грунтовых вод	поверхностный температурный эффект	техногенные процессы
Ускорение свободного падения, $1 \cdot 10^{-8} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$	20—30	7—10	40—100	3—5	—
Деформация уровенной поверхности, см	3—4	1—2	4—5	1	0,4
Уклонения отвеса, ..."	$(5—7) \cdot 10^{-4}$	$(2—5) \cdot 10^{-4}$	$(1—2) \cdot 10^{-3}$	—	—

личных работ следует учитывать также и изменения δg . В настоящее время точность абсолютных определений ускорения свободного падения характеризуется значениями $(1—2) \cdot 10^{-8} \text{ м} \times \text{с}^{-2}$ и по повторным гравиметрическим работам обнаруживаются неприливные изменения гравитационного поля. Установлено [1], что причины неприливных изменений ускорения свободного падения следующие: перераспределение земных масс, перемещение переменных атмосферных масс, наличие снежного покрова, изменения гидрологического режима, поверхностный температурный эффект, технологенные процессы и др.

По выполненным ранее исследованиям [3—5] получены формулы учета влияния переменных атмосферных масс, наличия снежного покрова и изменения уровня грунтовых вод на характеристики гравитационного поля Земли (ускорение свободного падения, деформация уровенной поверхности, составляющие уклонения отвеса, высота квазигеоида). Для иллюстрации приведем численные значения максимально возможного влияния этих факторов на соответствующие характеристики гравитационного поля Земли, которые представлены в таблице.

Теперь, зная, как изменились характеристики гравитационного поля, необходимо их учесть в результатах повторного нивелирования. Сначала устанавливают область и плотность пунктов вокруг исследуемого. Обычно для учета атмосферных процессов

и гидрологического фактора на ускорение свободного падения и составляющие уклона отвеса достаточно ограничиться областью радиусом $\Psi = 10^\circ$ с равномерной плотностью пунктов. Что касается влияния вышеперечисленных факторов на деформацию уровенной поверхности, то, как показали ранее выполненные исследования [4, 5], необходимо учитывать всю область Земли, т. е. $0 < \Psi < 180^\circ$. Для моментов времени, соответствующих повторным гравиметрическим и нивелирным работам, вычисляют для каждого пункта влияние атмосферных процессов и гидрологического режима. По полученным изменениям гравитационного поля и по известной методике ЦНИИГАиК вычисляют вариации уклонений отвеса и высот квазигеоида. Зная колебания отвесных линий, можно подсчитать влияние неприменимых изменений силы тяжести на результаты нивелирования. Так, по данным таблицы, переменные атмосферные массы и наличие снежного покрова могут вызывать максимальное изменение уклона отвеса соответственно $(7 \cdot 10^{-4})''$ и $(5 \cdot 10^{-4})''$, в то время как влияние изменения уровня грунтовых вод на колебание отвеса может достигать $(1-2) \cdot 10^{-3}$ секунд дуги.

Изменение суммы превышений Δh между пунктами нивелирного хода, обусловленное изменением уклона отвеса, что равносильно изменению наклона уровенной поверхности, можно подсчитать по формуле

$$\Delta h = \Theta \cdot L,$$

где Θ — изменение наклона уровенной поверхности или изменение уклона отвеса; L — длина нивелирного хода.

Подсчитаем возможное изменение суммы превышений Δh , если суммарное влияние указанных выше эффектов на изменение уклона отвеса составит $(1 \cdot 10^{-3})''$, а длина нивелирного хода $L = 500$ км.

Тогда $\Delta h = \frac{(1 \cdot 10^{-3})''}{(2 \cdot 10^5)''} \cdot 500 \cdot 10^6 \text{ мм} = 2,5 \text{ мм}.$

Эти подсчеты указывают на то, что при проведении нивелирования в прямом и обратном направлениях, а также при соединении результатов повторных нивелирных работ для вывода современных движений земной коры необходимо учитывать состояние атмосферных процессов и гидрологического режима. При этом целесообразно результаты высокоточного нивелирования приводить к наиболее удобному оптимальному моменту наблюдений, предварительно исключив влияние атмосферных процессов и изменение уровня грунтовых вод. Анализ показывает, что наиболее удобным оптимальным моментом наблюдений следует считать тот момент, при редуцировании на который поправки будут минимальными.

Поверхностные температурные эффекты существенно влияют на результаты высокоточного нивелирования и косвенно на вариации гравитационного поля Земли [9]. По приближенным

расчетом сезонное изменение отметок из-за указанного температурного эффекта может превысить 1 см на реперах Крымского геодинамического полигона, что соответствует вариации силы тяжести в несколько микроГал ($1 \cdot 10^{-8}$ м·с $^{-2}$), так как изменение высоты в 1 см вызывает изменение δg до $3 \cdot 10^{-8}$ м \times с $^{-2}$.

В связи с интенсивным использованием природных ресурсов происходит перераспределение земных масс, что в свою очередь вызывает изменение характеристик гравитационного поля. Поэтому при интерпретации повторных нивелирных и гравиметрических работ необходимо учитывать техногенные процессы. Как видно из таблицы, деформация уровенной поверхности, обусловленная понижением уровня воды оз. Севан за последние десятилетия на 18 м, составляет 4 мм в отметках реперов. Повидимому, такую величину следовало бы учитывать при анализе результатов повторного нивелирования и определении скоростей СДЗК [6].

1. Бакушевич В. Б., Двулит П. Д. О влиянии изменения уровня грунтовых вод на некоторые характеристики гравитационного поля в Полтаве // Кинематика и физика небесных тел. 1989. № 2. С. 13—15.
2. Буланже Ю. Д. Неприливные изменения силы тяжести // Повторные гравиметрические наблюдения. М., 1983. С. 3—18.
3. Двулит П. Д. Об учете переменных аномальных масс атмосферы при высокоточных измерениях силы тяжести // Тр. II Орловской конф. К., 1988. С. 88—90.
4. Двулит П. Д. Об определении потенциала и вертикальной составляющей притяжения аномальных атмосферных масс // Повторные гравиметрические наблюдения. М., 1988. С. 89—94.
5. Двулит П. Д., Скучин Б. Л. Сезонные деформации уровенной поверхности, обусловленные снежным покровом // Тез. докл. симпоз. КАПГ. Воронеж, 1988. С. 95—96.
6. Лиценберг Д. А., Ященко В. Р. Анализ геодезических и морфоструктурных данных района катастрофического землетрясения в Армении // Геодезия и картография, 1989. № 10. С. 23—29.
7. Павлив П. В. Проблемы высокоточного нивелирования. Львов, 1980.
8. Павлив П. В., Пневский П. И. Исследование устойчивости пунктов нивелирной сети // Геодезия и картография. 1983. № 12. С. 15—17.
9. Павлив П. В., Мельничук Н. А. Сопоставление степени воздействий лунно-солнечных приливов и гидротермических изменений в грунтах на результаты высокоточного нивелирования // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1988. Вып. 48. С. 66—70.
10. Юркина М. И. Обоснование приливных поправок и установление неприливных изменений силы тяжести // Повторные гравиметрические наблюдения. М., 1984. С. 23—27.
11. Юркина М. И. О выделении приливных влияний в элементах гравитационного поля // Повторные гравиметрические наблюдения. М., 1981. С. 3—7.
12. Юркина М. И. Исследования по совместному определению изменений земного гравитационного поля и вертикальных движений земной коры по повторным гравиметрическим и нивелирным наблюдениям // Повторные гравиметрические наблюдения. М., 1988. С. 6—22.

Статья поступила в редакцию 18.12.89