

Н. П. ГРУШИНСКИЙ, М. У. САГИТОВ

О НАБЛЮДЕНИИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ВО ВРЕМЯ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ

Описываются некоторые результаты наблюдений за изменением силы тяжести во время солнечного затмения. Из сопоставления условий различных наблюдений авторы приходят к выводу, что наблюдавшиеся эффекты в показаниях гравиметров и маятников вызываются температурными и барометрическими помехами.

§ 1

Непостоянство величины ускорения силы тяжести в данной точке земной поверхности уже давно привлекало внимание ученых. Еще М. В. Ломоносов указывал, что сила тяжести должна изменяться с течением времени, и построил для наблюдения этого явления несколько специальных приборов [1]. Только в силу технического несовершенства приборов его наблюдения не увенчались успехом.

В 1879 г. Абади [2] построил прибор, с помощью которого пытался отмечать изменения напряжения силы тяжести в данном месте. В середине 80-х годов прошлого столетия в Англии была учреждена комиссия под председательством В. Томпсона для изучения законов изменения напряжения силы тяжести и отклонений отвеса.

В настоящее время перед гравиметрией стоит задача изучения временных вариаций силы тяжести, которые носят вековой или периодический характер. Вековые вариации силы тяжести, вызванные процессами протекающими внутри Земли и вертикальными движениями земной коры, пока не могут быть зафиксированы существующей аппаратурой. Уверенно регистрируются периодические изменения силы тяжести, обусловленные различным расположением Луны и Солнца относительно точки наблюдения. Регистрация этих изменений силы тяжести проводится на ряде гравиметрических станций, работающих по международной программе, и служит для изучения физических свойств недр Земли.

В последнее время пробудился интерес к состоянию силы тяжести во время солнечного затмения в связи с возможной экранизацией тяготения. Майоран в лабораторных условиях якобы обнаружил изменение веса груза после экранирования его ртутным сферическим слоем. Майоран получил изменение веса груза в среднем на $5 \cdot 10^{-12} Gh$ его первоначального веса (G — плотность экрана, h — толщина слоя экрана) [3]. Если Майоран прав, то должно иметь место изменение силы тяжести

на Земле в момент полного солнечного затмения, когда происходит экранирование Солнца Луной. Величина этого эффекта трудно оценить, но во всяком случае весьма незначительна. 7 августа 1887 г. во время полного солнечного затмения И. О. Янковским [2] вблизи Москвы была произведена, по-видимому, первая попытка обнаружения изменения силы тяжести в момент затмения. Им был построен специальный прибор, представляющий собой в принципе пружинный гравиметр. Во время затмения начиная с первого контакта Луны и Солнца прибор начал показывать отклонения от нулевого положения, достигшие максимума спустя 8^m после полной фазы. В то же время термометр, обеспечивающий точность отсчета $\pm 0,1$, и барометр (± 1 мм) никаких изменений не показывали. Янковский это явление объясняет изменением тяготения во время затмения. С помощью несовершенной аппаратуры Янковского обнаружить эффект изменения напряженности тяготения в момент затмения (если даже таковой существует) было, конечно, невозможно.

Интерес к поведению силы тяжести во время затмения особенно возрос после полного солнечного затмения 30 июня 1954 г. Опыты по наблюдению гравитационных эффектов были поставлены во Франции М. Алле [4] и на Шотландских островах Р. Томашеком [5].

М. Алле производил наблюдения в Париже с параконическим маятником, установленным в лаборатории. Во время затмения он наблюдал необычное изменение плоскости качания маятника. В момент начала затмения азимут изменился на 5° ; это изменение шло в процессе затмения в том же направлении и за 20^m до середины полного затмения достигло максимума в 15° ; после затмения плоскость качания вернулась к прежнему положению (рис. 1). Был произведен гармонический анализ изменений температуры, давления, магнитного склонения, числа Барнеллы, характеризующего число пятен на Солнце, и чисел Вольфа (солнечной активности). В результате не обнаружено корреляции этих факторов с наблюдаемым эффектом. Алле считает, что обнаруженный им эффект связан с изменяемостью гравитационного поля во время затмения, однако объяснения того, каким образом это изменение могло вызывать отклонение плоскости качания маятника, он не дает. Нам представляется сомнительной возможность появления в результате затмения столь большого эффекта, как изменение плоскости качания на 15° . Рассмотрение графиков хода изменения плоскости качания маятника, приведенных автором в его публикациях, укрепляет это сомнение, поскольку суточное изменение плоскости качания маятника происходит неправильно и имеет случайные отклонения от правильного хода, порой того же порядка, что и во время затмения (рис. 2). Кроме того, прибор, примененный в рассматриваемом опыте, был далек от совершенства: маятник не был изолирован от внешней среды, имел значительное затухание, что требовало его запусков через каждые 14 мин, перед каждым запуском производилась смена шарика, на котором маятник качался (так как этот шарик сильно деформировался под тяжестью маятника), определение плоскости качания производилось визуально с точностью до $0,1$.

Р. Томашеком были произведены наблюдения за изменением напряженности силы тяжести с помощью гравиметров. Он использовал два гравиметра Фроста и один гравиметр Уордена. Точность наблюдений гравиметров порядка нескольких тысячных долей миллигала. Точность среднего результата по всем гравиметрам — $\pm 0,0014$ мгл. При наблюдениях гравиметры дополнительно термостатировались. В пределах точности измерений никакого аномального изменения силы

тяжести Томашек не обнаружил (рис. 3). Аналогичный результат опубликован Т. Окуда [6], производившим регулярные наблюдения лунно-солнечных вариаций силы тяжести в Японии с гравиметром GS—11. Во время полного солнечного затмения 19 апреля 1958 г. гравиметр не

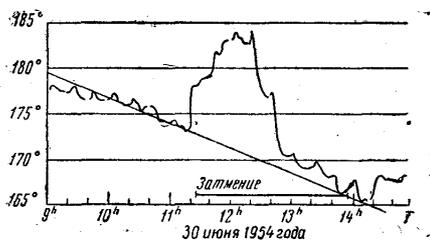


Рис. 1. Кривая изменения плоскости качания паракопического маятника во время полного солнечного затмения 30 июня 1954 г.

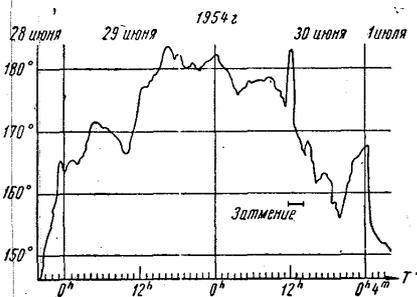


Рис. 2. Кривая изменения плоскости качания паракопического маятника 29 июня—1 июля 1954 г.

зарегистрировал никаких отклонений от обычной записи (рис. 4). Точность регистрации приблизительно 1 $\mu\text{л/м.м.}$

На состоявшемся в Берлине IV Региональном совещании европейско-азиатских стран — участниц МГГ в середине 1960 г. была принята рекомендация о проведении гравиметрических наблюдений во время солнечного затмения 15 февраля 1961 г. [7]. В соответствии с этой рекомендацией проведен ряд исследований изменения силы тяжести во время этого солнечного затмения. По имеющимся сведениям [8], такие работы были выполнены в Институте топографии и геодезии университета в Триесте совместно с Калифорнийским университетом. Вблизи Флоренции были проведены наблюдения изменений вертикального компонента солнечного притяжения с гравиметром Лакосте—Ремберг и в пещере вблизи Триеста горизонтального компонента с помощью горизонтального маятника. В Бузулуке в полосе полного солнечного затмения были проведены наблюдения с гравиметром ГВП-2 сотрудниками ВНИИканефтегаз (Т. М. Айрапетяном и др.). Прибор ГВП-2 представляет собой горизонтальный маятник, уравновешенный эльниварной пружиной. Упругая система была помещена в сосуд Дьюара, магнитоэкранирована и барометрически компенсирована. Отсчеты гравиметра велись визуально. Точность гравиметра характери-

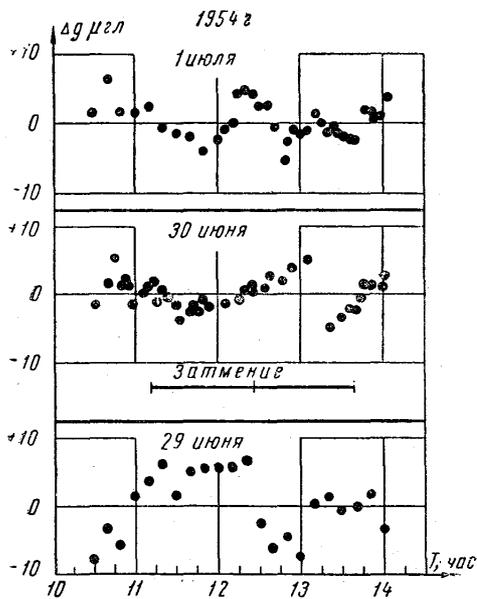


Рис. 3. Изменение силы тяжести во время полного солнечного затмения 30 июня 1954 г.

бор ГВП-2 представляет собой горизонтальный маятник, уравновешенный эльниварной пружиной. Упругая система была помещена в сосуд Дьюара, магнитоэкранирована и барометрически компенсирована. Отсчеты гравиметра велись визуально. Точность гравиметра характери-

зовалась средней квадратической ошибкой в $\pm 0,01$ мгл. Прибор во время наблюдений был установлен в гостинице на бетонном подоконнике.

Во время затмения прибор показал уменьшение силы тяжести (на $0,05-0,08$ мгл), которое произошло на 18^m позже полной фазы.

В Москве проводились наблюдения за силой тяжести во время частной фазы (0,91) затмения на геологическом факультете МГУ А. Б. Брюсовым и А. Г. Гайнановым и во ВНИИГеофизики К. Е. Веселовым.

А. Г. Гайнанов и А. Б. Брюсов наблюдали с гравиметром Норгарда и ГАК-4М. Приборы были установлены на столбах в цокольном этаже главного здания МГУ. Наблюдатели отметили в период затмения уменьшение силы тяжести по одному гравиметру до $0,6$ мгл и по другому до $1,0$ мгл с минимумом, сдвинутым на 10 мин после наибольшей фазы затмения. К. Е. Веселов наблюдал с кварцевыми гравиметрами

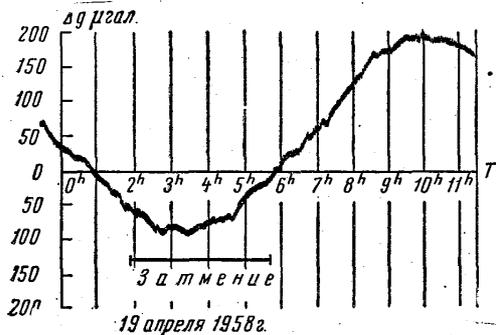


Рис. 4. Изменение силы тяжести во время полного солнечного затмения 19 апреля 1958 г.

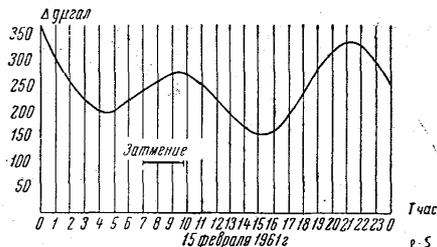


Рис. 5. Изменение силы тяжести во время полного солнечного затмения 15 февраля 1961 г.

ГАК-6М со специально повышенной чувствительностью системы и с визуальной шкалой отсчетов. Прибор был установлен в помещении лаборатории на подоконнике. В пределах точности наблюдений (порядка тысячных долей миллигала) никакого эффекта обнаружено не было. В Куйбышеве Еланским и Немцовым проводились наблюдения во время полной фазы затмения с гравиметром GS-11 с визуальной системой отсчетов. За несколько часов до начала затмения прибор был установлен на улице возле дома. Наблюдатели якобы обнаружили изменение силы тяжести в $0,32$ мгл.

Стационарно установленные для наблюдений лунно-солнечных вариаций силы тяжести гравиметры GS-11 в Киеве и Тбилиси во время частной фазы затмения (соответственно $0,90$ и $0,94$) никакого изменения силы тяжести не зарегистрировали. На рис. 5 приведена кривая записи изменения силы тяжести в Тбилиси.

Кроме того, в г. Казани ($0,95$) проводились наблюдения А. З. Петровым, в Ярославле ($0,90$) В. В. Радзиевским и в Ростове-на-Дону при полной фазе П. М. Горшковым.

§ 2

Для наблюдения за изменением силы тяжести во время полного солнечного затмения в составе экспедиции ГАИШ была образована гравиметрическая группа (М. У. Сагитов, Н. П. Грушинский, Г. Д. Марчук, студенты Б. Комберг, Л. Савров, Л. Свешникова и Н. Чуйкова, прикомандированный от Краснодарского треста А. А. Климарев и от

ВНИИ Геофизики Ю. Евдокимов). Эта группа вела наблюдения полного солнечного затмения в Ростове-на-Дону! В ее задачи входило повторение опыта Алле с параконическим маятником и проведение наблюдения с гравиметрами. Для выполнения этих работ в мастерских ГАИШ были изготовлены два специальных маятниковых прибора. Один из них (в той мере, в какой это было возможно по литературным источникам) являлся конструктивной копией параконического маятника Алле

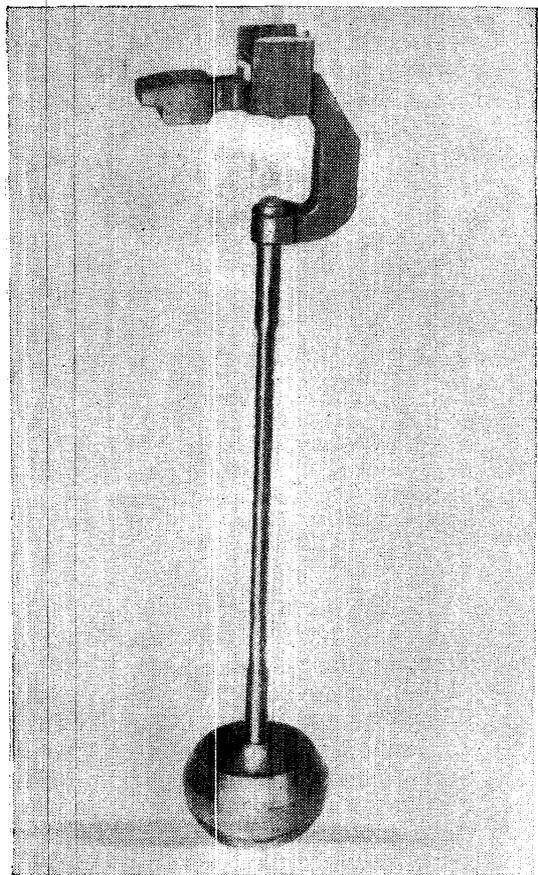
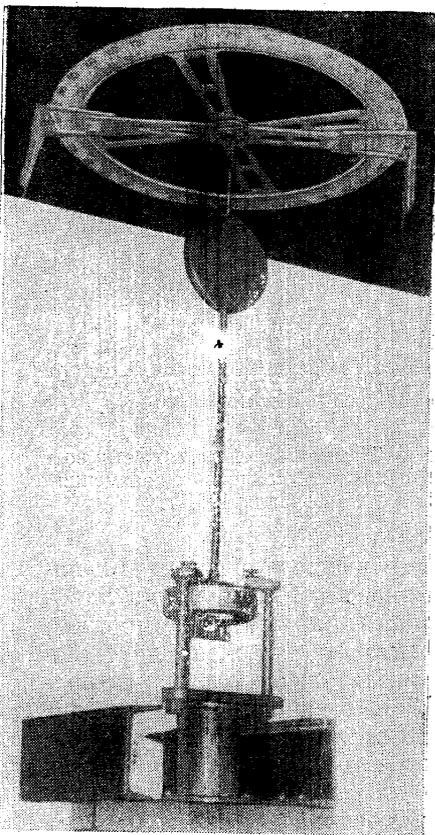


Рис. 6. Параконический маятник на шариковом подвесе

Рис. 7. Параконический маятник на игольчатом подвесе

(рис. 6). Второй представлял собой маятник типа, обычного гравиметрического, но на игольчатом подвесе (рис. 7). Игла, на которой качался маятник, была изготовлена из специальной стали. Опорой для нее служила полированная агатовая площадка. Маятник помещен под массивный латунный колпак, из которого можно с помощью насоса откачать воздух. Регистрация измерения плоскости качания маятника осуществлялась с помощью фотографирования на 35-миллиметровую пленку. Пуск и арретирование маятника осуществлялись механическим путем, посредством выведенных наружу через сальники рычагов. Для измерения силы тяжести были применены два гравиметра ГАК-6М с визуальной системой наблюдения и гравиметр GS-11 с регистри-

рующей приставкой, предназначенной для наблюдений лунно-солнечных вариаций силы тяжести. Этот прибор был наиболее точным из всех имевшихся в нашем распоряжении.

Для наблюдений был выбран подвал под жилым домом. Подвал имел ряд проходных комнат с плотно закрывающимися дверями. Наружные выходы закрывались массивными чугунными дверями с резиновыми прокладками. Приборы были установлены в разных комнатах на земляном полу, параконический маятник укреплен на двух рельсах, цементированных в кирпичную стену.

Маятники были установлены за 5 дней до солнечного затмения и тогда же начаты наблюдения. Гравиметр GS-11 был установлен за 2 дня до затмения и тогда же начаты наблюдения. Для уменьшения влияния технических микросейсм за три часа до полной фазы затмения было прекращено движение автотранспорта в окрестности места наблюдения.

Изменение плоскости качания параконического маятника носило случайный характер и какой-либо определенной корреляции с затмением не имело.

Гравиметры ГАК-6М, как уже говорилось, наблюдались визуально. На рис. 8 показана кривая изменения отсчетов гравиметра. Вблизи полной фазы затмения наблюдатель на гравиметре ГАК-6М, боясь пропустить изменение положения индекса прибора, прекратил запись отсчетов и только непрерывно следил за изменением индекса. Поэтому участок кривой *m* на рис. 8 интерполирован наблюдателем по зрительному впечатлению. Это снижает достоверность суждения о ходе кривой на участке *m*, так как незначительное плавное изменение силы тяжести в этом интервале времени могло быть воспринято наблюдателем как плавное возрастание отсчетов в связи со смещением нуля, которое проявляется в монотонном возрастании функции отсчетов гравиметра со временем на рис. 8.

На рис. 9 приведен график — кривая *a* — изменения отсчетов гравиметра GS-11 в предшествующее затмению время и во время затмения. Еще неустановившееся большое смещение нуля значительно снижает точность наблюдений. Тем не менее она велика, порядка нескольких микрогал. В период затмения наблюдается небольшой минимум порядка нескольких сотых миллигала. На рис. 9 (б) показана запись гравиметра со снятыми влияниями лунно-солнечного притяжения и смещения нуля. Как видно из графика, минимум во время затмения сохраняется. Кривая *b* представляет нормальное лунно-солнечное изменение силы тяжести. Изменения температуры и давления, представленные на рисунках 10 и 11, казалось бы, не должны вызвать изменений отсчетов гравиметра, так как прибор термостатирован и упругая система герметизирована. Однако возможны тонкие внешние влияния на чувствительный гальванометр регистратора, находящийся к тому же в неустановившемся режиме работы.

Анализ наблюдений позволяет сделать несколько заключений.

1. Наиболее точные и надежно работающие в установленном ре-

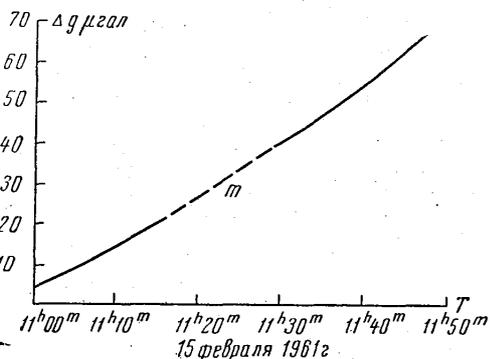


Рис. 8. Изменение силы тяжести по наблюдениям с гравиметром ГАК-6М во время солнечного затмения 15 февраля 1961 г.

жиге, изолированные от внешних влияний приборы не реагировали на солнечное затмение.

2. Эффект изменения силы тяжести или изменений плоскости качания маятников во время затмения наблюдался на ненадежных прибо-

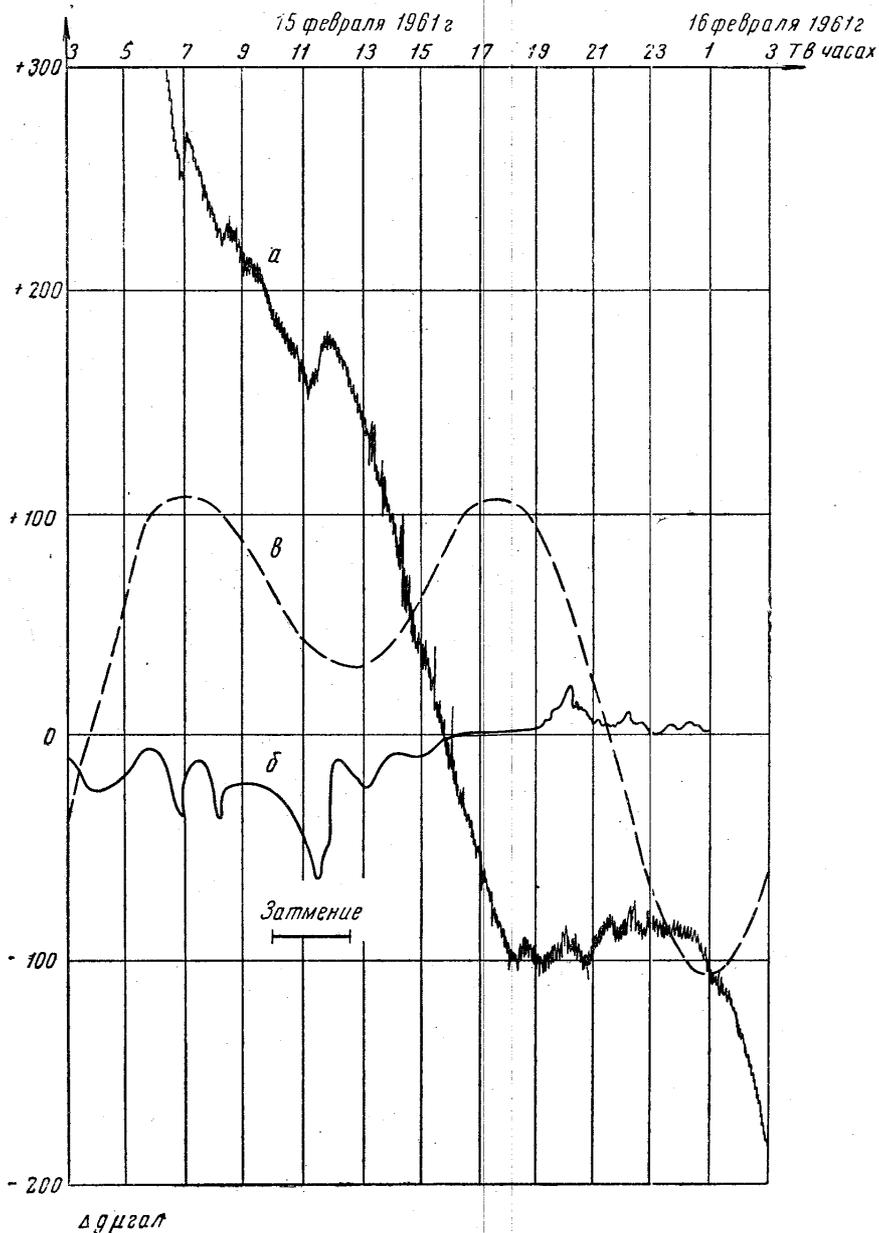


Рис. 9. Изменение силы тяжести по наблюдениям с гравиметром GS-II во время полного солнечного затмения 15 февраля 1961 г.

рах и на приборах, работающих в неустойчивом режиме и недостаточно изолированных от внешних влияний. Причем большие изменения обнаруживали приборы, находящиеся в худших условиях.

рующей приставкой, предназначенной для наблюдений лунно-солнечных вариаций силы тяжести. Этот прибор был наиболее точным из всех имевшихся в нашем распоряжении.

Для наблюдений был выбран подвал под жилым домом. Подвал имел ряд проходных комнат с плотно закрывающимися дверями. Наружные выходы закрывались массивными чугунными дверями с резиновыми прокладками. Приборы были установлены в разных комнатах на земляном полу, параконический маятник укреплен на двух рельсах, цементированных в кирпичную стену.

Маятники были установлены за 5 дней до солнечного затмения и тогда же начаты наблюдения. Гравиметр GS-11 был установлен за 2 дня до затмения и тогда же начаты наблюдения. Для уменьшения влияния технических микросейсм за три часа до полной фазы затмения было прекращено движение автотранспорта в окрестности места наблюдения.

Изменение плоскости качения параконического маятника носило случайный характер и какой-либо определенной корреляции с затмением не имело.

Гравиметры ГАК-6М, как уже говорилось, наблюдались визуально. На рис. 8 показана кривая изменения отсчетов гравиметра. Вблизи полной фазы затмения наблюдатель на гравиметре ГАК-6М, боясь пропустить изменение положения индекса прибора, прекратил запись отсчетов и только непрерывно следил за изменением индекса. Поэтому участок кривой *m* на рис. 8 интерполирован наблюдателем по зрительному впечатлению. Это снижает достоверность суждения о ходе кривой на участке *m*, так как незначительное плавное изменение силы тяжести в этом интервале времени могло быть воспринято наблюдателем как плавное возрастание отсчетов в связи со смещением нуля, которое проявляется в монотонном возрастании функции отсчетов гравиметра со временем на рис. 8.

На рис. 9 приведен график — кривая *a* — изменения отсчетов гравиметра GS-11 в предшествующее затмению время и во время затмения. Еще неустановившееся большое смещение нуля значительно снижает точность наблюдений. Тем не менее она велика, порядка нескольких микрогал. В период затмения наблюдается небольшой минимум порядка нескольких сотых миллигала. На рис. 9 (б) показана запись гравиметра со снятыми влияниями лунно-солнечного притяжения и смещения нуля. Как видно из графика, минимум во время затмения сохраняется. Кривая *b* представляет нормальное лунно-солнечное изменение силы тяжести. Изменения температуры и давления, представленные на рисунках 10 и 11, казалось бы, не должны вызвать изменений отсчетов гравиметра, так как прибор термостатирован и упругая система герметизирована. Однако возможны тонкие внешние влияния на чувствительный гальванометр регистратора, находящийся к тому же в неустановившемся режиме работы.

Анализ наблюдений позволяет сделать несколько заключений.

1. Наиболее точные и надежно работающие в установившемся ре-

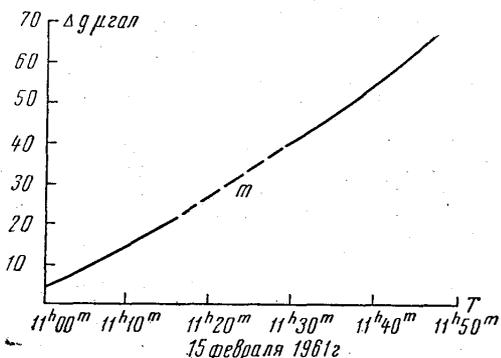


Рис. 8. Изменение силы тяжести по наблюдениям с гравиметром ГАК-6М во время солнечного затмения 15 февраля 1961 г.

жиге, изолированные от внешних влияний приборы не реагировали на солнечное затмение.

2. Эффект изменения силы тяжести или изменений плоскости качания маятников во время затмения наблюдался на ненадежных приборах

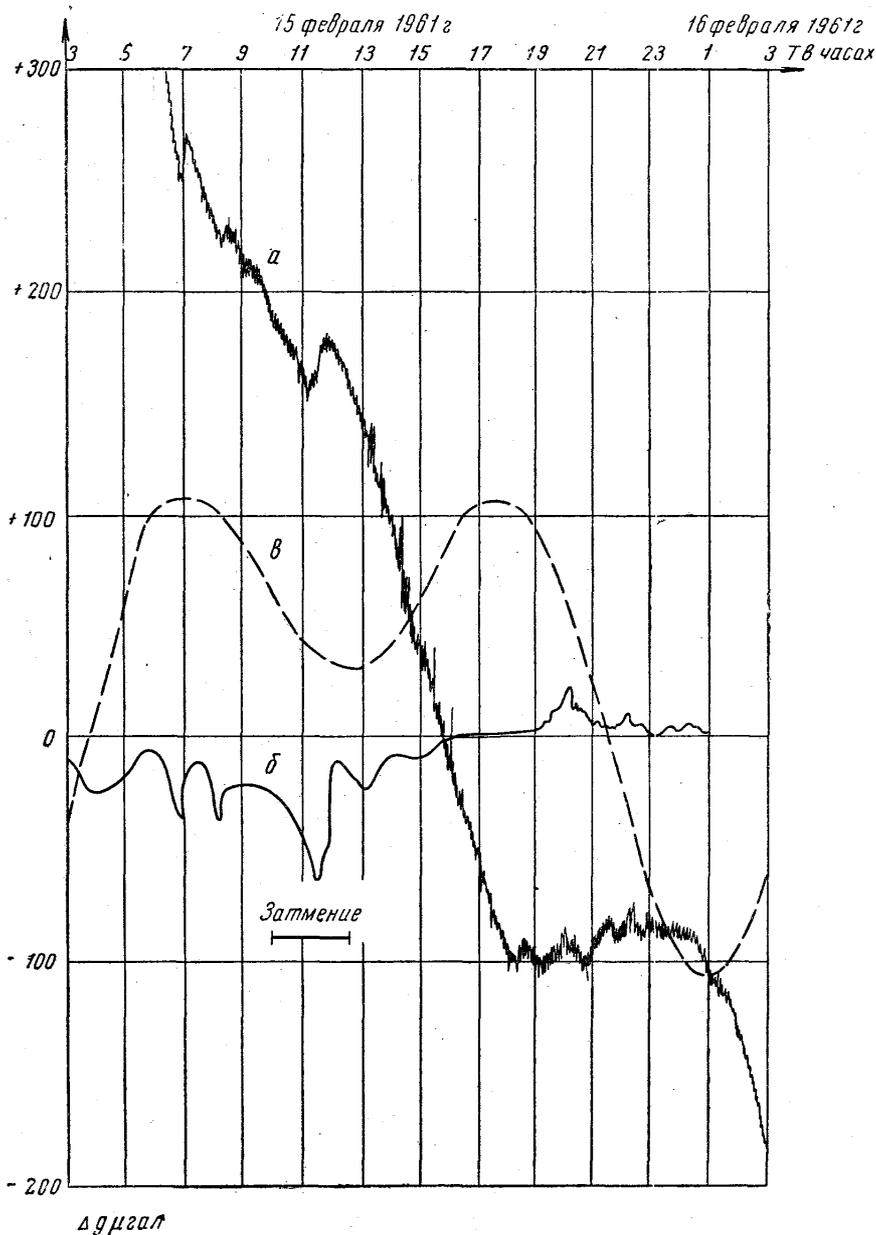


Рис. 9. Изменение силы тяжести по наблюдениям с гравиметром GS-11 во время полного солнечного затмения 15 февраля 1961 г.

рах и на приборах, работающих в неустойчивом режиме и недостаточно изолированных от внешних влияний. Причем большие изменения обнаруживали приборы, находящиеся в худших условиях.

3. Наблюдавшееся во многих случаях уменьшение отсчетов с запаздыванием относительно полной фазы затмения, по-видимому, объясняется реакцией на общее понижение температуры во время затмения.

Во всяком случае, можно утверждать, что современная точность гравиметрических приборов и степень устранения или учета помех, по-видимому, недостаточна для обнаружения эффекта экранизации тяготения Солнца во время затмения, если таковая существует.

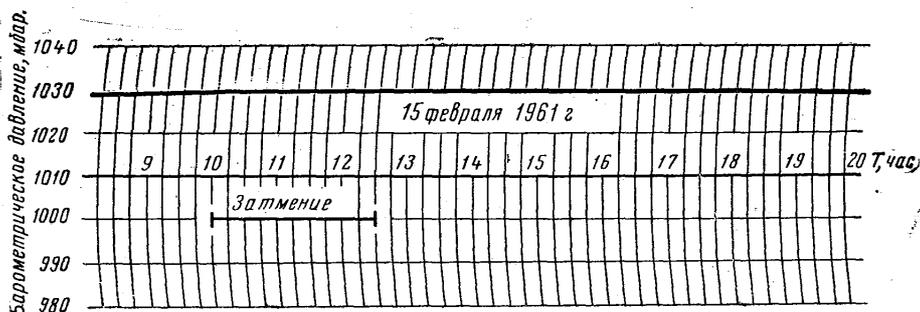


Рис. 10. Кривая изменения температуры в день затмения 15 февраля 1961 г. на месте наблюдений с гравиметром GS-11



Рис. 11. Кривая изменения давления в день затмения 15 февраля 1961 г. на месте наблюдений с гравиметром GS-11

Повторные эксперименты следует проводить с наиболее точными приборами, работающими в наиболее благоприятных условиях. Если существует экранизация силы тяжести, то она должна проявляться не только во время солнечных затмений, когда экраном служит Луна, но и в различии солнечного гравитационного влияния на дневной и ночной стороне Земли, когда экраном является Земля.

Попытку обнаружения таких изменений следует предпринять при обработке больших рядов наблюдений лунно-солнечных вариаций силы тяжести.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломоносов М. В. Поли. собр. соч., т. 11. Изд-во АН СССР, М., 1951. Избранные философские произведения. Госполитиздат, 1950.
2. Янковский И. О. Всемирное тяготение как следствие образования весовой материи внутри небесных тел. М., 1889.
3. Majoran. Philos. Mag., 39, 488, 1920; Comptes Rendus. 173, 478, 1921.
4. Allais M. Comptes Rendus. 13 Mai, 4, 13, 18, 25 Novet 4 dec. 1957.
5. Tomaschek R. Nature, 175, № 4465, 1955.
6. Okuda T. Geophys. Journ., II, 1957—1958.
7. Международный Геофизический год. Информационный бюллетень, № 9, 1961.
8. Societa astronomica Italiana circolare Nr. 3, 1961.

Поступила в редакцию
3. I 1962 г.

Кафедра
небесной механики и гравиметрии