

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ

© Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Пархомов А.Г.

Проведен анализ результатов длительных измерений гравитационной постоянной Ньютона G , полученных на вакуумированных крутильных весах с устройством перемещения шаровых притягивающих масс. Обнаружены корреляции с изменениями солнечной активности, а также ритмы солнечных, лунных, звездных суток и лунного месяца.

VARIATIONS of RESULTS of GRAVITATIONAL CONSTANT MEASUREMENTS RESEARCH

Izmajlov V.P., Karagioz O.V., Parkhomov A.G.

The analysis of results of long measurements of gravitational Newton constant received on vacuum torsion balance with the device of moving attractive sphere is conducted. Correlation with changes of solar activity and rhythm of solar, lunar, star days and lunar month are founded.

ВВЕДЕНИЕ

Величина гравитационной постоянной G известна с гораздо более низкой точностью, чем величины других фундаментальных постоянных (скорость света, постоянная Планка, заряд и масса электрона). Это связано с сильными флуктуациями результатов измерений, которые техническими усовершенствованиями экспериментальных установок удалось снизить лишь незначительно [1]. В настоящей работе предпринята попытка выяснить закономерности в изменениях результатов измерений G . В качестве исходной информации использованы данные, полученные с 1985 по 1996 г. [2, 3, 6].

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Определение G осуществлялось по величине периода крутильных колебаний коромысла с закрепленными на его концах пробными массами (около 1,5 г). Коромысло подвешено на тонкой нити в вакуумной камере. Специальная система подавляет колебания, отличные от крутильных. Вне вакуумной камеры располагаются эталонные массы - шары весом около 4 кг. Эталонные массы перемещаются электроприводом по заданной программе и фиксируются в определенных положениях с погрешностью около 1 мкм. Для снижения возможных ошибок, связанных с магнитным полем, установка изготовлена из немагнитных материалов (бериллиевая бронза, алюминий, нержавеющая сталь, медь); вокруг вакуумной камеры размещен магнитный экран из пермаллоя. Определение амплитуды и периода колебаний производится при помощи оптоэлектронной системы. Измерения проводятся в подвальном помещении без присутствия операторов

преимущественно ночью (в выходные и праздничные дни - круглосуточно). Цикл измерения - около двух часов. Более подробное описание установки и методики измерений содержится в работах [3, 6]. Там же приведены формулы для расчета величины G по результатам измерений.

С 1985 по 1997 г. выполнено более 40 тысяч измерений. Результаты измерений введены в компьютер и обработаны по специально разработанной программе. Банк данных содержит информацию о времени каждого измерения, параметрах установки, периодах и амплитудах колебаний, а также вычисленные значения G .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ

Значение G , усредненное по всем измерениям, составляет $6,6729 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$. Но судить о том, насколько точно это значение соответствует "истинной" величине гравитационной постоянной, нельзя. Проблема состоит в том, что усреднения по фрагментам массива полученных значений G дают достоверно различающиеся значения. Так, измерения с 19.10.95 по 25.01.96 дали $G=(6,67263 \pm 0,00013) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$, тогда как с 21.03.93 по 13.07.93 было получено значение $G=(6,67369 \pm 0,00020) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$ (указано стандартное отклонение среднего значения).

В дальнейшем в приводимых в тексте и на рисунках значениях G мы отбрасываем две первых значащих цифры как неменяющиеся (запись XXX надо понимать как $6,6\text{XXX} \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$).

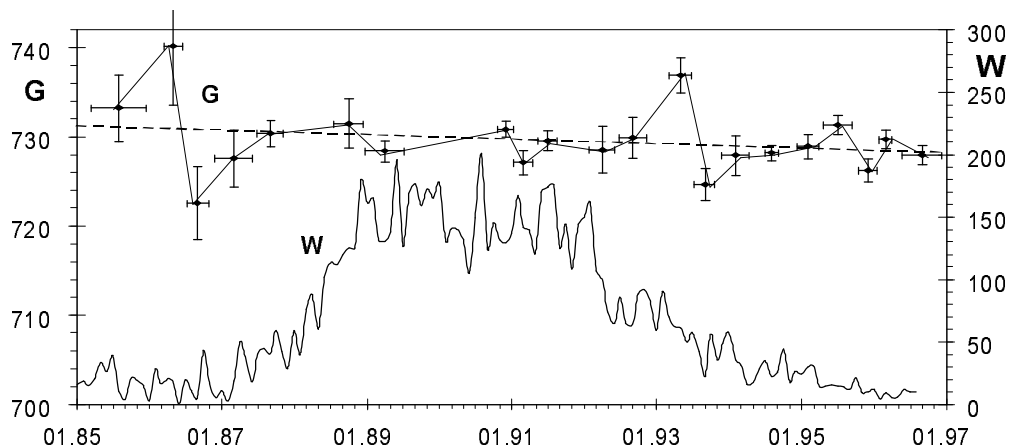


Рис.1. Результаты измерений гравитационной постоянной G , усредненные по отдельным массивам, и средние значения чисел Вольфа W .

Обобщенную картину вариаций результатов измерений G дает рис.1. Представленные на рисунке данные разбиты на 21 массив близких по времени измерений. Показаны значения G , усредненные по каждому из этих массивов. Горизонтальная черта соответствует продолжительности массива, вертикальная - стандартному отклонению среднесуточных

значений. На этом же рисунке показаны среднемесячные значения чисел Вольфа W , характеризующих солнечную активность. Обращает на себя внимание совпадение периодов наибольшей нестабильности полученных значений G (87-88 и 92-93 годы) с фазами роста и спада солнечной активности. В максимумах и минимумах солнечной активности (89-91 и 94-96 годы) результаты более стабильны. Повышенный разброс результатов в 85-86 годах связан с несовершенством ранних измерений.

Более детальная информация о результатах измерений G представлена на рис.2, где показано скользящее 15-суточное усреднение, полученное для отдельных фрагментов, а также стандартное отклонение S пятнадцати соседних среднесуточных значений G . На некоторых участках изображенных кривых можно заметить отчетливую ритмичность. Взаимосвязь G и S очевидностью не проявляется.

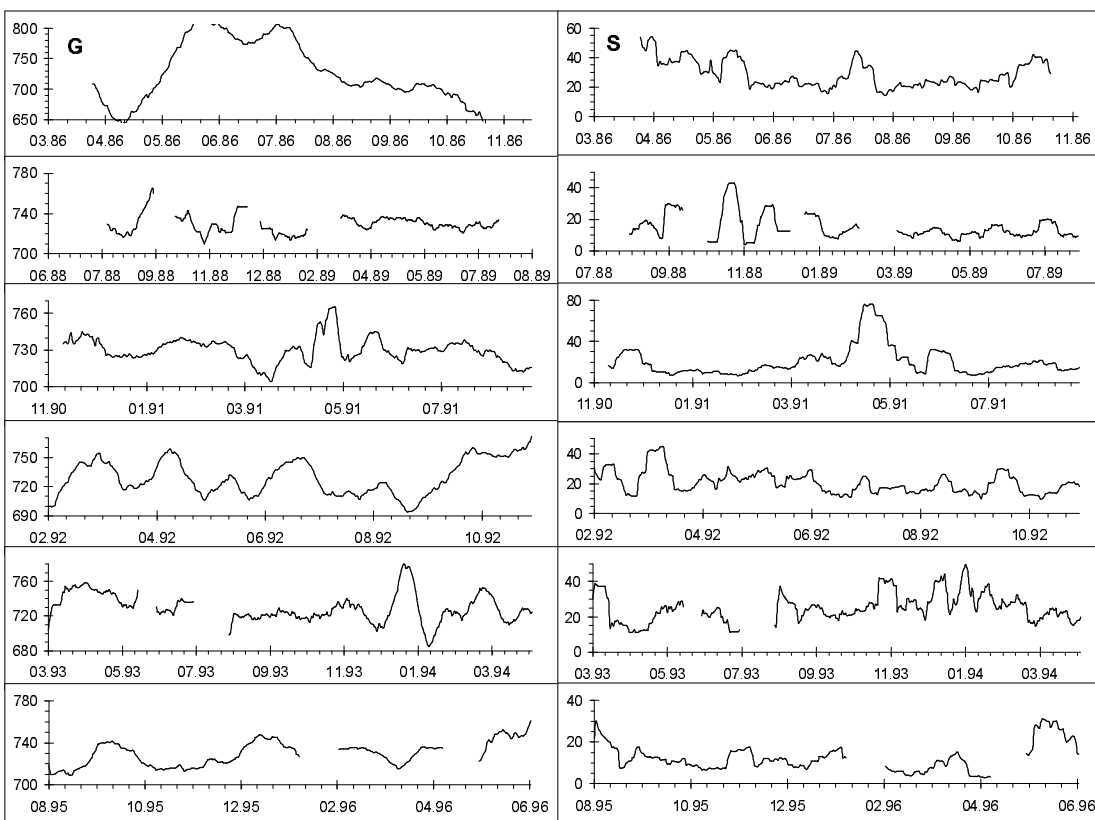


Рис.2. Слева: результаты измерений гравитационной постоянной G (скользящее усреднение за 15 суток). **Справа:** стандартное отклонение S пятнадцати соседних среднесуточных значений G .

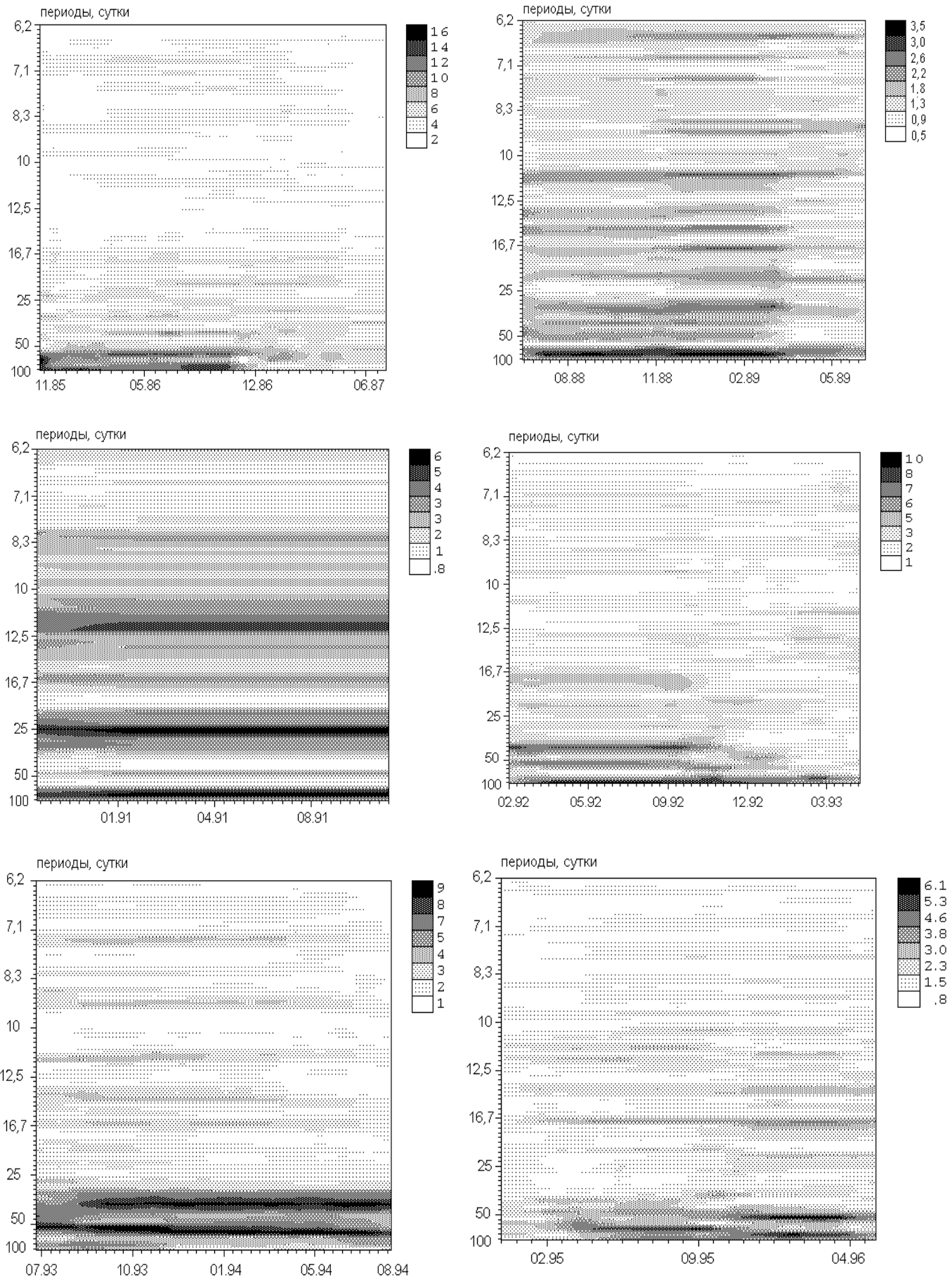


Рис.3. Спектрально-временные диаграммы среднесуточных значений результатов измерений гравитационной постоянной.

РИТМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис.3 показаны спектрально-временные диаграммы среднесуточных значений G (спектральный анализ в скользящем временном окне). Хорошо видна разница между ритмами, проявляющимися в 88-92 годах, и ритмами, характерными для 86-87 и 93-96 годов. Более детально результаты спектрального анализа ритмов представлены в **таблице 1**.

Таблица 1. Периоды ритмов в вариациях результатов измерений гравитационной постоянной

Интервал времени	Периоды обнаруженных ритмов, сутки
04.85 - 12.86	85; 61; 39; 30; 23,5; 21,2; 17,7; 10,9; 9,7; 8,7; 7,6; 7,2; 7,0; 6,0
12.86 - 08.87	70-71; 39; 33; 28; 21,2; 17,0-17,7; 14,6; 12,1; 11,2; 9,0; 8,5; 8,2; 7,6; 7,0; 6,5; 6,0
06.88 - 07.89	70-85; 47-53; 39; 28-33; 21,2; 17,0; 14,6; 13,3; 10,9; 10,0; 9,0; 8,7; 7,5; 7,0; 6,5
11.90 - 08.91	70-85; 47; 30; 25-27; 21,2; 16,3; 12,1; 11,8; 11,5; 8,2; 6,2
02.92-07.93	85; 53-61; 39; 28; 21,2; 17-18,4; 15,2; 13,3; 9,5; 8,3; 7,3; 7,0; 6,6; 6,4; 6,2
08.93 - 08.94	85; 53-61; 39; 35; 33; 30; 26; 22; 16,3-17,0; 15,2; 14,1; 11,2; 9,0; 7,3; 6,1
02.95 - 06.96	85; 71; 53; 47; 39; 35; 22,4; 21,2; 17,0; 13,7-14,2; 11,8; 11,5; 11,2; 10,4; 9,7; 9,0; 8,5; 7,9; 7,2; 7,0; 6,4; 6,2

Наиболее отчетливые и присутствующие почти во всех проанализированных интервалах времени ритмы имеют периоды 85, 53, 39, 23, 21, 17 и 9 суток. Эти же периоды (за исключением 39-суточного) обнаружены в вариациях солнечной и геомагнитной активности [4]. Характерные для солнечной активности ритмы с периодами около 27 суток ярко проявляются лишь в 1991 г., в год максимума солнечной активности. В это же время особенно заметны ритмы с периодами около 12 суток. Таким образом, ритмологический анализ дает весомые основания для предположения о связи вариаций результатов измерений гравитационной постоянной с солнечной и геомагнитной активностью.

Наличие ритмов с периодами 28-30 и 14-15 суток, близкими к сидерическому и синодическому лунным месяцам (27,3 и 29,5 суток) и их половине, указывает на то, что результаты измерений G связаны с положением Луны относительно звезд и/или с лунными фазами (взаимным положением Луны, Земли и Солнца. Поскольку амплитуда вариаций нестабильна, для убедительного доказательства наличия ритмов с тем или иным периодом необходимо применять метод наложенных эпох, охватывающий как можно большее число периодов. Метод наложенных эпох (синхронное детектирование) состоит в том, что анализируемый интервал времени разбивается на равные участки заданной длительности T и производится суммирование или усреднение результатов измерений, одинаково расположенных во времени относительно начал этих участков. Если изменения величины результатов происходят с периодом, равным T или соизмеримым с ним (т.е. равным $(m/n)T$,

где m и n - целые числа), происходит “накопление” эффекта; результаты, меняющиеся во времени случайным образом или имеющие периоды, несоизмеримые с T , нивелируются.

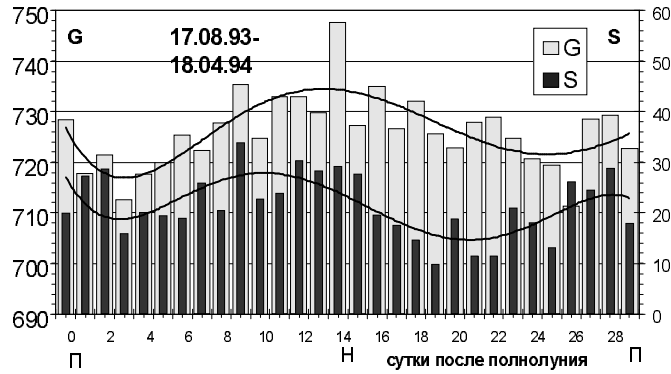


Рис.4. Распределения средних значений результатов измерений гравитационной постоянной G и стандартного отклонения S среднесуточных значений G по суткам синодического лунного месяца (гистограммы) и скользящие усреднения по трем соседним суткам. Н - новолуние, П - полнолуние.

Анализ этим методом результатов измерений G , полученных с декабря 1990г. по декабрь 1991г., содержащийся в работе [5], подтвердил наличие лунномесячных вариаций. На рис.4 представлены результаты анализа методом наложенных эпох данных, полученных с августа 1993 по апрель 1994 года, выявляющего наличие ритмов, соизмеримых с синодическим лунным месяцем. Среднесуточные значения G разбиты на группы, отстоящие от полнолуний на определенное число суток. Для каждой из групп вычисляли среднее значение среднесуточных значений G и стандартное отклонение S . Эти величины и показаны на диаграмме. Видно, что значения G , полученные около новолуний, заметно выше значений, полученных между полнолуниями и новолуниями. Различие статистически высокодостоверно: среднее значение G за 7 дней около новолуний $733,2 \pm 2,7$, тогда как с 1 по 5 день после полнолуний $G = 717,9 \pm 1,3$. Разброс полученных данных тоже связан с фазой Луны: стандартное отклонение S в дни, близкие к новолунию, в два раза выше, чем между новолуниями и полнолуниями. Аналогичный анализ выявляет и ритмы сидерического лунного месяца, но в этом случае заметен лишь ритм изменения G , а статистически достоверных ритмических изменений S нет.

Значительный интерес представляет исследование ритмов солнечных, звездных и лунных суток, результаты которого показаны на рис.5. Весь массив значений G , полученных с августа 1993 по апрель 1994 г. в субботние и воскресные дни (круглосуточные измерения проводились только в выходные и праздничные дни), был упорядочен по возрастанию времени измерения в пределах суток независимо от календарной даты. После этого проводили скользящее усреднение по 15 соседним результатам (при этом охватывался интервал около 1 часа). Полученное значение наносили на график, считая временем, соответствующим этому значению, середину охваченного интервала. Такой анализ сделан

для солнечных суток (24 часа), звездных суток (23 часа 56 минут) и лунных суток (24 часа 51 минута).

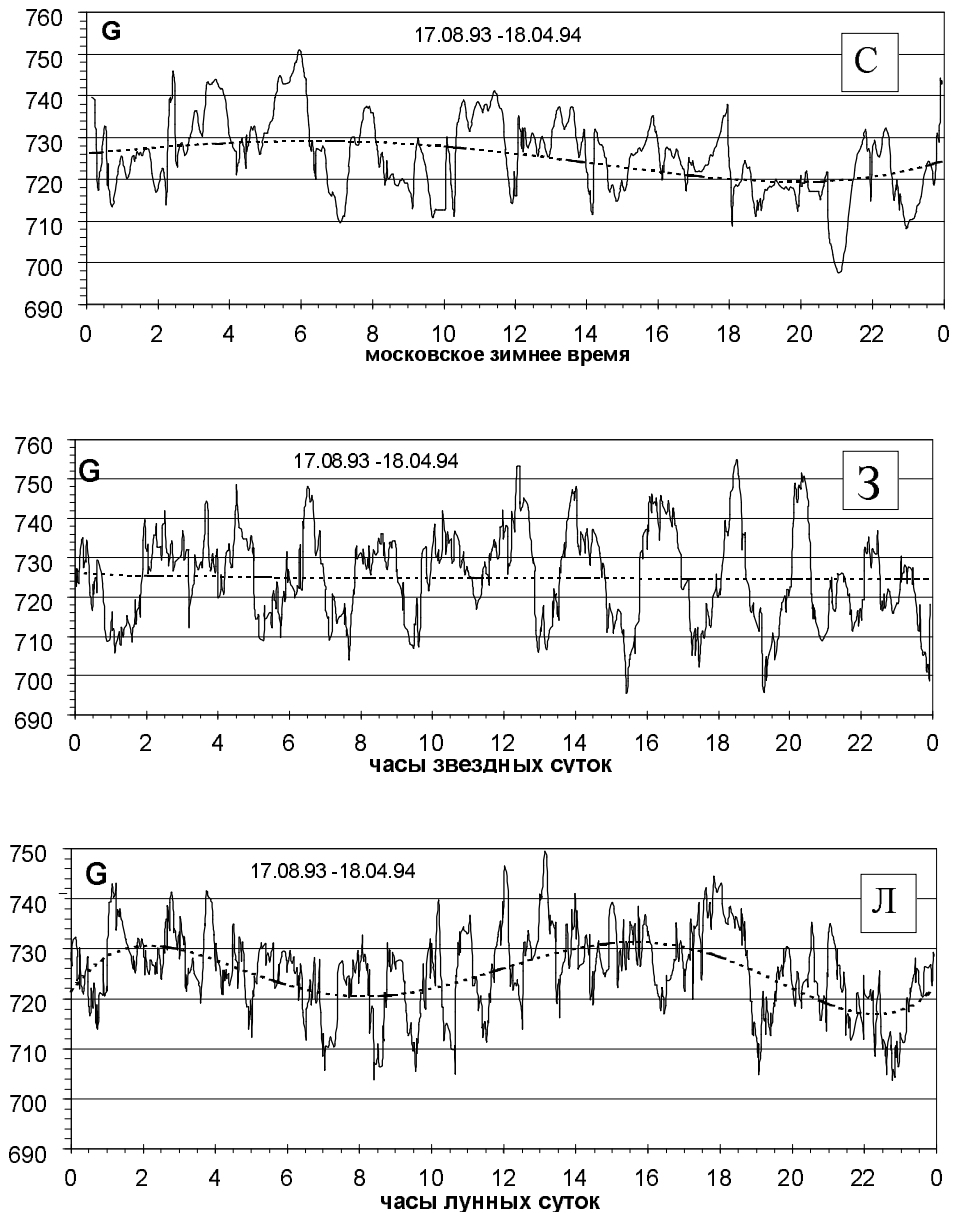


Рис.5. Результаты измерений гравитационной постоянной G в циклах солнечных (С), звездных (З) и лунных (Л) суток. Полиномиальные линии тренда построены методом наименьших квадратов.

На всех трех диаграммах видны флуктуации, соответствующие статистике случайных отклонений от среднего для усреднения по 15 значениям, имеющим разброс со стандартном отклонением около 40. На фоне этих флуктуаций статистически достоверно происходят ритмические изменения результатов измерений G .

На диаграмме, полученной для цикла *солнечных* суток (рис.5с), заметно плавное уменьшение результатов измерений от утренних к вечерним часам. Усреднение по 100 значениям показывает статистическую достоверность отличия результатов, полученных

утром, от результатов, полученных вечером: $732,6 \pm 3,9$ с 3 до 6 часов и $718,8 \pm 3,9$ с 19 до 22 часов (среднее по всему массиву $725,0 \pm 1,3$).

Иначе проявляется ритмика, связанная со *звездными* сутками (рис.5з). Усреднения по массивам продолжительностью 3 часа и более не обнаруживают согласованных со звездными сутками статистически достоверных отклонений от среднего по всему массиву ($725,0 \pm 1,3$). Но отчетливо проявляется ритмичность с периодом около двух часов, особенно заметная во второй половине звездных суток. Ритмы достоверно отличаются от флуктуаций случайно меняющейся величины (см. таблицу 2).

Таблица 2. Ритмические изменения результатов измерений гравитационной постоянной на протяжении звездных суток

звездное время	15 - 16	16 - 17	17 - 18	18 - 19	19 - 20	20 - 21
G	$711,7 \pm 6,5$	$741,6 \pm 5,5$	$712,6 \pm 6,7$	$736,6 \pm 6,4$	$707,5 \pm 5,7$	$732,0 \pm 5,8$

Результаты анализа результатов измерений G на наличие ритмов, связанных с *лунными* сутками, показаны на рис.5л. Начало отсчета - 00:00 московского зимнего времени 17.08.93, верхняя кульминация - около 13 часов лунного времени. Можно заметить, что в середине лунных суток флуктуации приобретают ритмический характер с периодом около часа. Так же, как и на рис.5с, на фоне флуктуаций заметны плавные изменения, но уже с двумя максимумами и минимумами, причем максимумы на 1-2 часа отстают от нижних и верхних кульминаций Луны. Величины G, усредненные за 3 часа около максимумов и минимумов, различаются статистически достоверно (см. таблицу 3).

Таблица 3. Усредненные значения гравитационной постоянной около максимумов и минимумов лунносуточного ритма

время лунных суток	1 - 4	6:30 - 9:30	14 - 17	21:30 - 0:30
G	$731,9 \pm 3,5$	$720,5 \pm 3,8$	$728,1 \pm 3,8$	$717,7 \pm 3,7$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ вариаций результатов измерений гравитационной постоянной показывает, что они связаны с целым рядом космических и геофизических явлений. Разумно предположить, что этот анализ выявляет не изменение величины физической константы - гравитационной постоянной, а действие каких-то неучитываемых исследователями факторов, прямо или косвенно влияющих на результаты измерений. Многолетние поиски этих факторов [1] не привели к успеху. Проведенные исследования показали, что изменения геомагнитного поля, нестабильность температуры и атмосферного давления, потоки остаточного газа в вакуумной

камере, изменения наклона установки не могут привести к наблюдаемым эффектам. Вариации гравитационного поля, связанные с изменением взаимного положения Земли, Луны и Солнца слишком малы для *непосредственного* ощутимого влияния на результаты измерений, но можно предположить их косвенное проявление, например через микросейсмы. Исследование эффектов, связанных с микросейсмами, является весьма сложной задачей. Теоретически выяснена принципиальная возможность их влияния на результаты измерений величины G , однако вопрос о том, является ли именно этот фактор главным, остается открытым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Кузнецов В.А., Мельников В.Н., Росляков А.Е. Временные и пространственные вариации измеряемых значений гравитационной постоянной. *Измерительная техника*, № 10, (1993), с.3-5.
2. Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Кузнецов А.И. Методика и результаты исследований путей повышения точности гравитационной постоянной Кавендиша. *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*, № 2, (1992), с.91-101.
3. Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Силин А.А., Духовской Е.А., в кн. *Всемирное тяготение и теории пространства и времени*, (ред. Я.П.Терлецкий), М., Изд-во УДН, (1987), с.102-126.
4. Владимирский Б.М., Нарманский В.Я., Темурьянц Н.А., *Космические ритмы*, Симферополь, (1994), с.46-71.
5. Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Пархомов А.Г., *Исследование флуктуаций результатов измерений гравитационной постоянной на установке с крутильными весами*. Препринт № 21 МНТЦ ВЕНТ. М., (1992), 25 с.
6. Карагиоз О.В., Измайлов В.П. Измерение гравитационной постоянной крутильными весами. *Измерительная техника*, № 10, (1996), с.3-9.