

## Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 2015 г.

УДК 550.31; 550.8.08

### РЕЗОНАНСНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ КРУТИЛЬНЫМИ МАЯТНИКАМИ

C.A. Шопин, sshopin@mail.ru

ФБГОУ ВО Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

Рассмотрена конструкция приборов – широкополосных градиентометров, используемых для систематических гравиметрических наблюдений в Тульском государственном университете. Приведены примеры специфических высокочастотных сигналов большой амплитуды, зарегистрировавшихся в прошлые годы в сентябре-октябре. Представлены характерные спектрограммы таких сигналов. Регистрация сигналов происходит из-за резонансного характера амплитудно-частотной характеристики крутильных систем.

### RESONANCE EFFECTS IN HORIZONTAL TORSION PENDULUM EXPERIMENTS

S.A. Shopin, sshopin@mail.ru

Tula State University, Tula, Russia

It is considered construction of instruments (wideband gradiometers), used for systematic gravity monitoring in Tula State University. Several examples of specific high-frequency signals, registered in Septembers and Octobers during last years are shown. Typical spectrograms of such signals are presented. Registration of signals results from the resonant behavior of the gain-frequency characteristic of the torsional systems.

В Тульском государственном университете с конца 80-х гг. ХХв. проводятся мониторинговые наблюдения с использованием специальных гравиметрических приборов градиентометрического типа, основанных на использовании асимметричного горизонтального крутильного маятника [1,2]. В настоящее время приборы используются как один из компонентов системы наземно-космического мониторинга предвестников землетрясений [3].

Основным элементом конструкции используемых приборов – широкополосных градиентометров (приборов ШГМ) – являются крутильные маятники типа весов Кулона или Кавендиша с асимметричной системой грузов (рис.1а). Крутильная система представляет собой коромысло 2, подвешенное за центр тяжести на нити 1. На концах коромысла закреплены грузы 3 и 4. Элементы крутильных систем выполнены из немагнитных материалов. Измерения проводятся на неподвижном основании (точка подвеса нити О неподвижна).

Используемая крутильная система является асимметричной: грузы 3 и 4 имеют различную конструкцию и массо-инерционные характеристики. Конструкция груза 3 набирается из металлических пластин.

Измеряемой величиной является угол закручивания нити 1 крутильной системы (угол поворота коромысла 2), величина которого для находящихся в эксплуатации приборов находится в диапазоне  $\pm 20^\circ$ .

Каждый прибор ШГМ имеет несколько измерительных каналов (несколько крутильных систем), размещенных внутри заземленного металлического корпуса-экрана (рис. 1б).

Коромысла с грузами находятся внутри рабочего объема корпуса 1, выполненного из толстой стали (толщина  $\sim 10\text{-}20$  мм). Нити подвеса крутильных систем располагаются внутри штанг 5. Крепление нитей подвеса и установка нулевого положения крутильных систем осуществляется с помощью узла 2.

Каждая крутильная система снабжена оптоэлектронной системой, обеспечивающей измерение угла поворота коромысла и передачу информации в персональный компьютер. Элементы датчиков углов поворота располагаются в опорах штанг 6.

Принцип действия измерительной системы угла поворота показан на рис.1в. Измерение угла поворота угла осуществляется путем измерения освещенности фотодиода 7

## Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 2015 г.

отраженным от зеркальца 5 светом от источника света 6. Освещенность изменяется в зависимости от угла поворота зеркальца, жестко связанного с коромыслом крутильной системы. Такая схема измерения угла при определенных параметрах и расположении источника света и фотодиода оказывается нечувствительной к отклонениям нити подвеса от вертикали.

В качестве источников света 6 используются лазерные диоды или светодиоды с обратной связью по яркости.

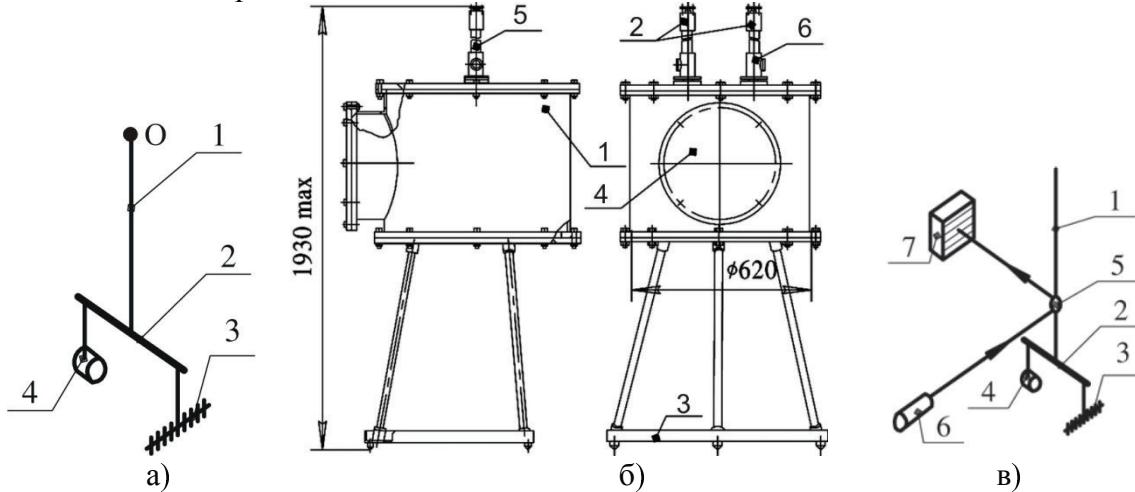


Рис. 1. а) Крутильная система прибора ШГМ: О – точка подвеса крутильной системы; 1 – нить подвеса; 2 – коромысло; 3 – груз сложной формы; 4 – груз-противовес; б) Конструкция корпуса-экрана прибора ШГМ-2: 1 – рабочий объем корпуса; 2 – узел крепления и регулировки крутильной системы; 3 – основание прибора; 4 – крышка рабочего монтажного окна; 5 – штанга; 6 – опора штанги; в) Принцип измерения угла закручивания нити: 1 – нить подвеса; 2 – коромысло; 3 – груз сложной формы; 4 – груз-противовес; 5 – зеркальце; 6 – светодиод; 7 – фотодиод

Крутильные системы приборов являются слабо демпфированными, их резонансные частоты находятся в районе единиц миллигерц.

В настоящее время в эксплуатации находятся три прибора: ШГМ-2, ШГМ-3 и ШГМ-4 (рис.2). Цифра в названии приборов обозначает число крутильных систем. Приборы ШГМ работают в круглосуточном режиме и их показания сохраняются в специальной базе данных с частотой дискретизации до 1 Гц (различна для разных приборов). Лаборатория мониторинга является отдельным изолированным помещением, измерения ведутся без участия оператора.

В работах [4,5] на экспериментальных данных показана чувствительность приборов к микросейсмике от удаленных сильных землетрясений, а также к быстрым вариациям атмосферного давления в пункте наблюдений. В работах [1,2,4,5] приведены примеры регистрируемых сигналов и рассмотрена их структура. В настоящей работе рассматриваются специфические ВЧ сигналы, зарегистрированные приборами.

8 декабря 2009г. начал регистрироваться ВЧ сигнал беспрецедентной мощности, наблюдавшийся вплоть до 15 декабря (рис.3,4). За время наблюдений с использованием систем ШГМ-3 и ШГМ-4 (с 2006г.) сигнал не имел аналогов на момент своего возникновения, значительно превосходя по амплитуде аномалии на любом временном интервале до своего появления (в течение 2006–2010гг.), поэтому данный сигнал был назван мега-аномалией.

Спектральный анализ (рис.5) показал, что мега-аномалия представляет собой широкополосный сигнал, имеющий похожую спектральную структуру на всех каналах приборов, в тоже время каждый из каналов выделяет в спектре составляющие, расположенные вблизи собственных резонансных частот (частот собственных колебаний). Спектральный состав мега-аномалии на интервале 13.12.2009–15.12.2009 несколько сдвинут в ВЧ область. Кроме собственной частоты колебаний каждого канала спектр мега-аномалии

## Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 2015 г.

содержит также ряд выраженных составляющих на других частотах в диапазоне  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  Гц – гармоник основной частоты  $\sim 10^{-2}$  Гц. В указанном частотном диапазоне лежат и собственные частоты колебаний крутильных систем, т.е. регистрация аномалий связана с резонансными эффектами.

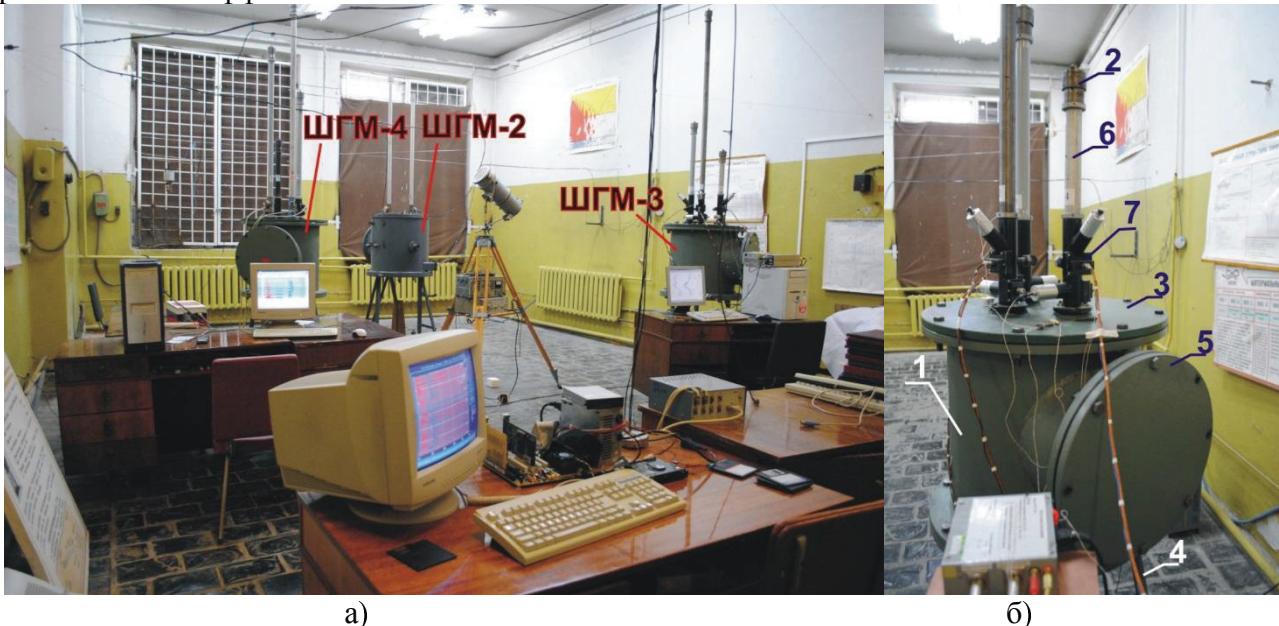


Рис. 2. а) Фотография лаборатории, б) корпус-экран прибора ШГМ-3: 1 – рабочий объем, 2 – устройство крепления и регулировки крутильной системы; 3 – крышка корпуса; 4 – основание прибора; 5 – крышка рабочего монтажного окна; 6 – штанга; 7 – опора штанги:

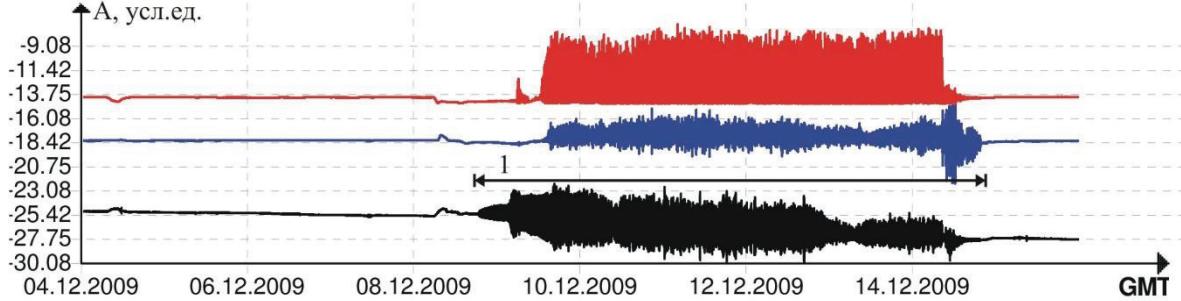


Рис.3 – Данные ШГМ-3 за период 04.12.2009–15.12.2009: 1 – ВЧ сигналы

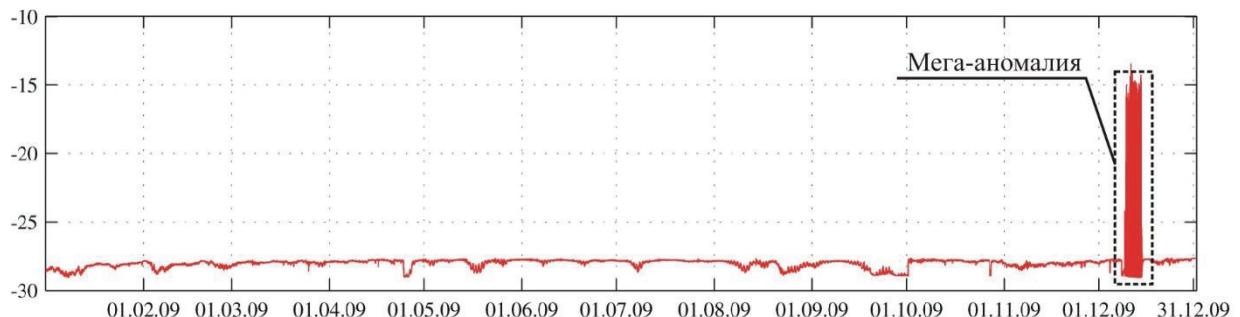


Рис.4 – Мега-аномалия на годовом графике ШГМ-3 за 2009г., канал 1

Спектральный анализ сигналов за 2006–2014гг. позволил выявить сигналы, имеющие линейчатый спектр – сигналы-аналоги частотной структуры мега-аномалии. Аналоги были найдены на следующих временных интервалах:

- в 2006г.: 18.10–19.10;
- в 2007г.: 19.09; 14.10–19.10; 29.10;
- в 2008г.: 16.09–20.09; 28.09–29.09; 29.10.
- в 2013г.: 27.09–30.09;

## Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 2015 г.

– в 2014г.: 21.10–22.10.

Пример спектrogramмы сигнала-аналога показан на рис.6

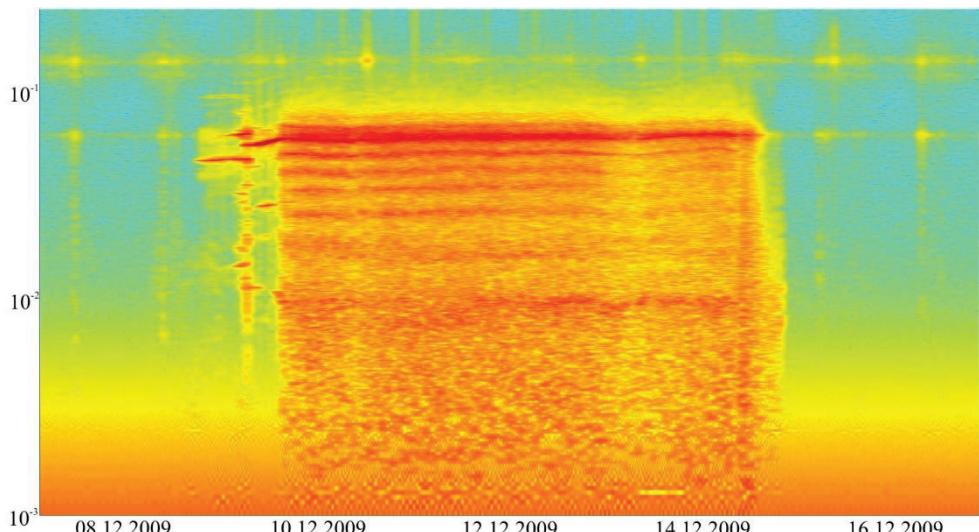


Рис.5 – Спектrogramма канала 3 прибора ШГМ-3

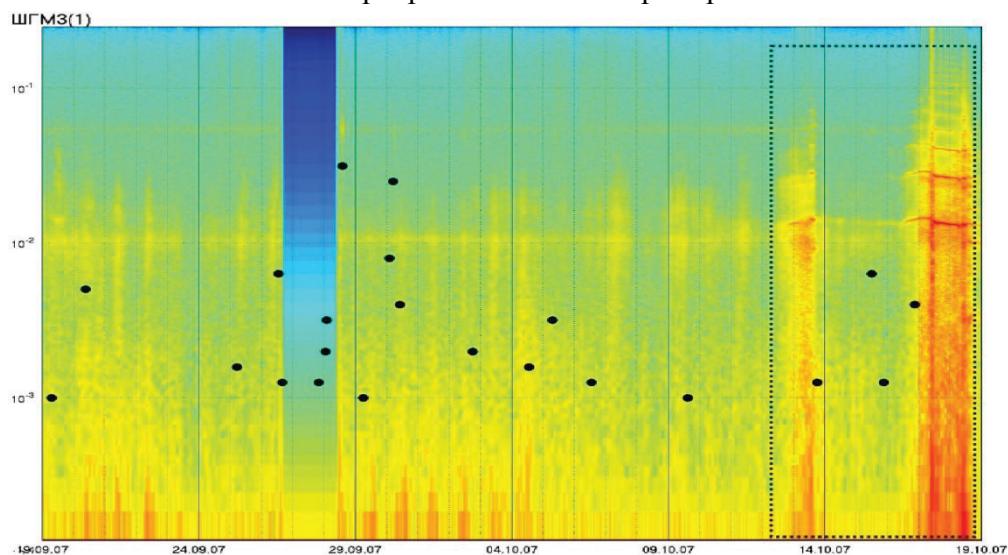


Рис. 6 – Спектrogramма канала 1 прибора ШГМ-3 на интервале 19.09.2007–19.10.2007г.

Мега-аномалия декабря 2009г. имеет аналоги по частотной структуре, хотя по своей интенсивности она аналогов не имеет. Несомненно, значительный интерес вызывает сопоставление временных интервалов аномалий с результатами измерений с помощью современных высокочувствительных гравиметров, выполняемых другими исследовательскими группами.

В 2013г. измерения с помощью приборов ШГМ проводились уже в сопровождении специального компьютеризированного барографа, разработанного автором статьи, что позволило изучить спектральный состав инфразвуковых вариаций атмосферного давления в период наблюдения аномалии и позволило проверить гипотезу о возможном метеорологическом генезисе наблюдавшейся аномалии. На рис.7-9 показаны аномалия 2013г. и результаты цифровой фильтрации данных барографа и ШГМ-3. Поведение отфильтрованных составляющих данных ШГМ-3 и барографа отличается, что позволяет утверждать, учитывая очень большую амплитуду аномалии, что аномалия 2013г. не связана с акустическими процессами в пункте наблюдений. Аналогии между аномалией 2013г. и показанными ранее осенними аномалиями, выявленными на временном интервале 2006–2014гг., позволяют предположить, что все указанные аномалии не связаны с акустическими

## Восьмые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, 2015 г.

процессами, т.е. имеют неметеорологическое происхождение. Данное утверждение будет проверяться с помощью барографа с более высоким разрешением.

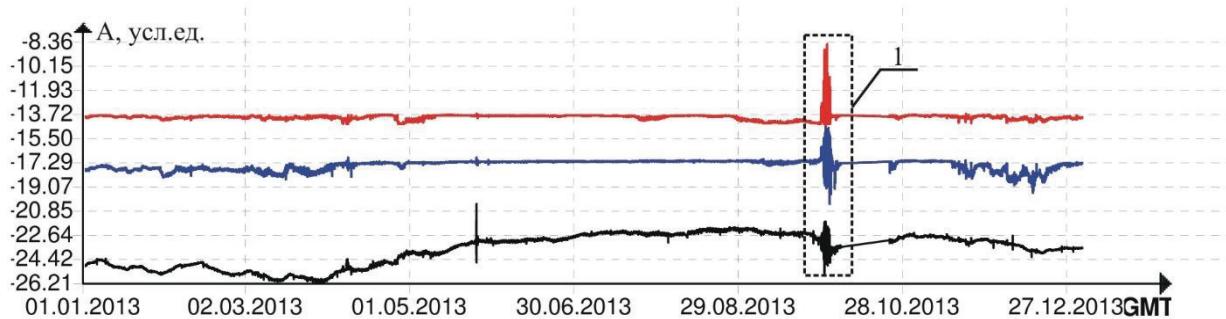


Рис. 7 – Данные ШГМ-3 за 01.01.2013–31.12.2013г.: 1 – аномалия

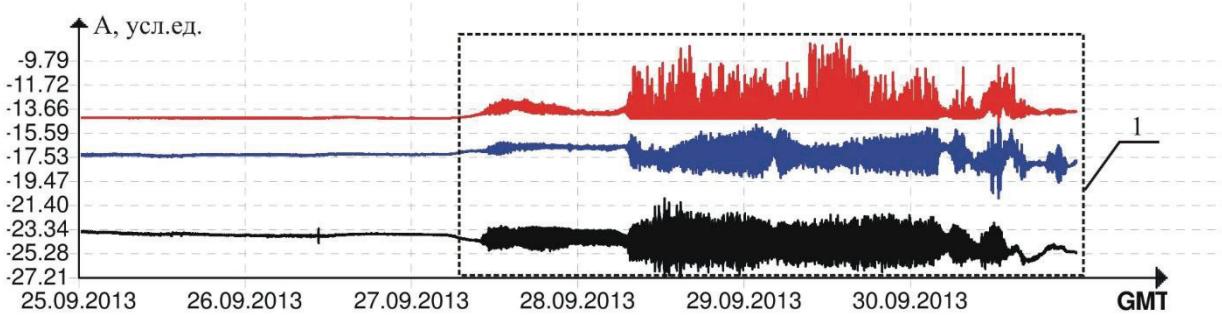


Рис.8 – Данные ШГМ-3 за 25.09.2013–30.09.2013г.: 1 – аномалия

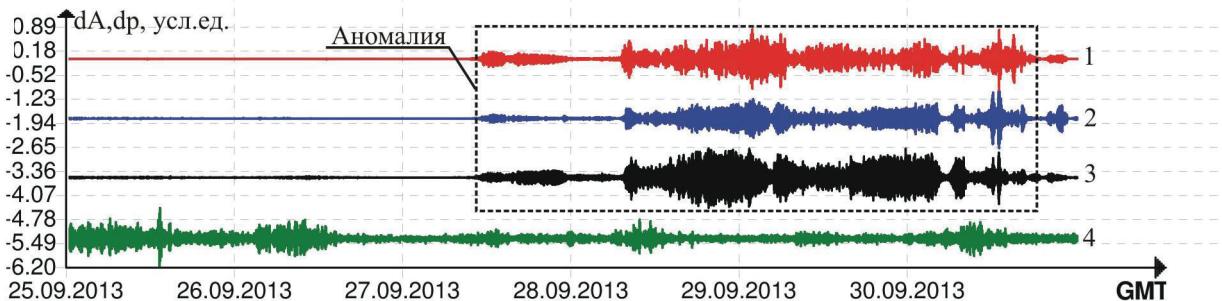


Рис.9 – Аномалия в данных ШГМ-3 и данные барографа за период 25.09.2013–30.09.2013г.: 1,2,3 – отфильтрованные сигналы ШГМ-3, 4 – отфильтрованные данные барографа.

Интересно отметить, что все найденные интервалы - аналоги привязаны к сентябрю-октябрю, что позволяет предположить, что появление подобных сигналов связано с прохождением планетой при движении по орбите определенной области космического пространства, в которой она подвергается какому-то специальному воздействию.

### Список литературы

1. Мартынов О.В. Концепция прогноза природных катастроф и практические результаты, полученные на основе аппарата нелинейной физики, математики и данных системы //Нелинейный мир.– 2008.– № 10.– Т. 6.– С. 579-615
2. Шопин С.А. О работах О.В. Мартынова по прогнозу землетрясений / Система «Планета Земля»: 200 лет Священному союзу.– М.: ЛЕНАНД, 2015.– 656с.– С.102–120
3. Doda L.N., Dushin V.R., Natyaganov V.L., Smirnov N.N., Stepanov I.V. Earthquakes forecasts following space- and ground-based monitoring // Acta Astronautica.– 2011.– V.69.– P.18-23
4. Шопин С.А. Микросейсмические и барические эффекты при измерениях с помощью горизонтальных крутильных весов / Система «Планета Земля»: XX лет Семинару «Система «Планета Земля»».– М.: ЛЕНАНД, 2014.– 608с.– С.343–355
5. Шопин С.А. Влияние микросейсм и вариаций атмосферного давления на измерительные системы на основе горизонтальных крутильных весов // Известия ТулГУ. Естественные науки. Вып. 1. Ч.1.– Тула, изд-во ТулГУ, 2014.– С. 249-263.