

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.830+550.732

ВОЗМОЖНАЯ ПРИРОДА ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ ПУЛЬСАЦИЙ
НЕПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Ю.В. АНТОНОВ¹, А.К. РЫБИН², В.Е. МАТЮКОВ²

¹Воронежский государственный университет
394006, Россия, г. Воронеж, Университетская пл., 1; e-mail: office@main.vsu.ru;

²ФГБУН Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке
Киргизстан, г. Бишкек-49; e-mail: tua@gdirc.ru

Рассмотрено совместное изменение вариаций магнитотеллурического поля Земли и неприливных вариаций силы тяжести, зарегистрированных на территории Бишкекского геодинамического полигона. Наблюдается отчётливая взаимосвязь этих вариаций. Во время пульсаций силы тяжести интенсивность магнитотеллурического поля уменьшается. Поскольку пульсации связаны с метеорными потоками, то можно предположить, что они ослабляют плотность летящих от Солнца заряженных частиц.

Ключевые слова: магнитотеллурическое поле; неприлинные вариации силы тяжести; Бишкекский геодинамический полигон.

THE POSSIBLE NATURE OF THE CHANGES IN THE INTENSITY
OF MAGNETOTELLURIC FIELD DURING THE PULSATIONS OF THE NON-TIDAL
GRAVITY VARIATIONS

YU.V. ANTONOV¹, A.K. RYBIN², V.E. MATIUKOV²

¹Voronezh State University
394006, Russia, Voronezh, University pl., 1; e-mail: office@main.vsu.ru

²Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek
720049, Kyrgyzstan, Bishkek-49; e-mail: tua@gdirc.ru

The joint change in variations of magnetotelluric field of the Earth and un-tidal variations of gravity, registered at the territory of Bishkek Geodynamic Polygon, are considered. There is a clear relationship of these variations. During the pulsations of the gravity the magnetotelluric field intensity decreases. Since the pulsations are associated with the meteor streams, the meteor showers can be assumed to weaken the density of charged particles flying from the Sun.

Key words: magnetotelluric field; un-tidal variations of gravity; Bishkek Geodynamic Polygon.

В [4—6] авторы рассматривали вопрос о связи между неприливыми вариациями силы тяжести и магнитотеллурическим полем. Корреляция указанных полей существует в основном за счёт влияния

Солнца на магнитное поле Земли, создания электрических токов в ионосфере и их проникновения в недра Земли, а также за счёт деформации земных недр Солнцем и соответственно изменения поля

силы тяжести на Земле. Луна, как инертное тело по космическим понятиям, не может воздействовать на магнитосферу Земли, но всё равно действует опосредствованно на магнитотеллурическое поле. Гравитационное воздействие Луны на Землю в два раза сильнее влияния Солнца. В результате деформации земных недр магнитотеллурическое поле модулируется изменением силы тяжести [5]. Поэтому все физические процессы, происходящие на поверхности и внутри Земли так или иначе находятся под влиянием Солнца и Луны и изменяются одновременно. В частности, это относится к наблюдаемым нами магнитотеллурическому и гравитационному полям. Они взаимосвязаны между собой и могут меняться синхронно под действием внешних сил. Рассмотрим конкретно одно интересное проявление связи магнитотеллурического и гравитационного поля.

Обратим внимание на всплеск кривой неприливной вариации (рис. 1, кривая 1), который может быть вызван каким-либо локальным событием или конструктивными особенностями прибора, так как по длительности всплеск не велик (около 1 ч). Такие всплески отмечались ранее в [9], когда сравнивались между собой синхронные наблюдения на нескольких приборах сразу. Авторы статьи [9] пришли к выводу, что высоки измерений обусловлены конструктивными особенностями гравиметров, хотя они наблюдаются в 50 % испытываемых приборов, и не рекомендовали их использовать при проведении высокоточных съёмок. С точки зрения гравиразведочных целей, возможно, имеет место, но на самом деле наиболее чувствительными более точными являются те приборы, в которых отмечаются подобные отклонения.

Чтобы проверить это утверждение, проанализированы записи вертикальной составляющей сейсмического поля на двух мониторинговых сейсмических станциях, одна из которых расположена там же, где и гравиметр (Ала-Арча, ААК), а вторая — на расстоянии 70 км от базовой станции (Эркинсай, ЕКС). На рис. 1 приведены результаты этого сравнения. Поскольку сейсмические измерения по отношению к изменению поля силы тяжести сдвинуты по фазе на 90° , то сейсмические данные необходимо проинтегрировать [3], чтобы сейсмическое и гравитационное поля были в одной размерности. Или наоборот, поле силы тяжести должно быть продифференцировано. Дифференцирование, как следует из кривых силы тяжести, подвержено значительному влиянию погрешностей измерения. Интегрирование уменьшает влияние случайных погрешностей, поэтому был выбран первый вариант. Отметим, что и при интегрировании результат осложняется из-за изменения нуля-пункта сейсмографа и его низкочастотной составляющей, однако интегрирование всё-таки предпочтительнее. Трансформанта сейсмического

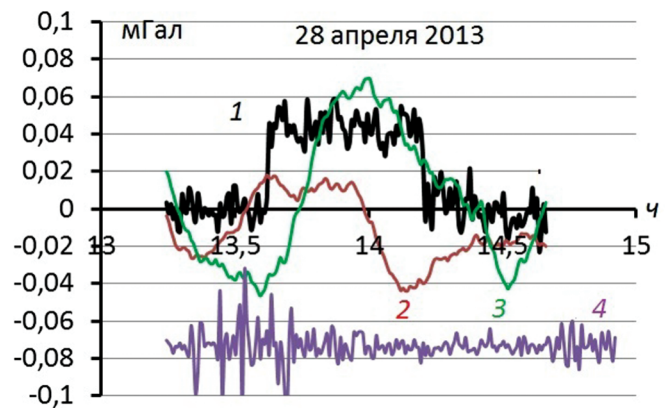


Рис. 1. Графики неприливных вариаций силы тяжести, вертикальной составляющей сейсмического поля и компоненты H_Z магнитотеллурического поля 28 апреля 2013 г.: 1 — неприливной вариации силы тяжести; 2 — вертикальной составляющей сейсмического поля на станции ААК; 3 — вертикальной составляющей сейсмического поля на станции ЕКС (Эркинсай); 4 — вариации компоненты H_Z магнитотеллурического поля

поля и составляющая теллуриков H_Z на рис. 1 (кривые 2, 3 и 4) для наглядности сопоставлены умножены на соответствующие коэффициенты и к ним добавлены постоянные.

На рис. 1 показаны исходная кривая неприливной вариации силы тяжести и трансформированные сейсмические кривые [3] по станциям Ала-Арча (ААК) и Эркинсай (ЕКС). Характер изменения интегрированных кривых соответствует таковому вариации силы тяжести. Естественно, сейсмические кривые не такие резкие и несколько сдвинуты по времени (вперед или назад) относительно исходной вариации на рис. 1 (кривая 1), но это легко объяснить погрешностью наблюдений и трансформациями сейсмических наблюдений.

Таким образом, приведённая неприливная вариация на рис. 1 не связана с конструктивными особенностями гравиметрической системы, а обусловлена теми же причинами, что и в сейсмографах. Наконец, остановимся на изменении в указанном временном отрезке магнитотеллурического поля H_Z (рис. 1, кривая 4). Составляющая H_Z минимальная на этом отрезке и практически постоянная, а на концах отрезка в первую очередь переменная и по амплитуде значительно больше. На первый взгляд не вполне убедительный аргумент, но тем не менее поле H_Z ведёт себя во время всплеска неприливной вариации силы тяжести иначе, чем до и после всплеска. Отметим ещё одну особенность: аномалии неприливной вариации и H_Z сдвинуты одна относительно другой. Вариация H_Z начинает затухать по амплитуде позже произошедшего скачка в неприливной вариации силы тяжести. Таким образом, можно считать, что неприливные вариации силы тяжести вызваны внешними источниками.

Всплеск неприливной вариации силы тяжести (рис. 2, а) продолжается около 5 ч. Соотношение между гравитационным и магнитотеллурическим

полями остается тем же. Амплитуда вариации H_z вовремя скачка уменьшается и сдвинута относительно начала скачка. На рис. 2, б интервал скачка по времени почти вдвое суток. Правда, здесь скачок выражен не так резко, как в двух предыдущих примерах, но амплитуда H_z уменьшается. Отметим, что космическая погода в указанные сроки (рис. 1, 2) была практически штилевой. По данным спутника GOES-15, всплеск в рентгеновском диапазоне не зарегистрировано, так что большая вероятность того, что корональных выбросов масс, которые могли в результате ударов по магнитосфере вызвать изменение амплитуды неприливных вариаций силы тяжести, не было. Но в апреле 2013 г. был мощный метеорный поток Лирид, а в июне того же года поток Июньских Боотид. Поток Лирид по мощности относят к потокам средней силы, но в отдельные годы он может быть очень сильным. Активность Июньских Боотид очень низкая — один или два метеора в час. Но иногда наблюдаются, как и в 2013 г., всплески активности. Подобный всплеск неприливной вариации по сути и привёл в 1916 г. к открытию данного метеорного потока. Последний сильный всплеск активности Июньских Боотид наблюдался в 1998 г. Тогда за 1 ч можно было увидеть порядка 100 метеоров, а это по ак-

тивности соизмеримо с потоком Персеид, который ежегодно наблюдаются в августе месяце.

Мы рассмотрели связь неприливных вариаций силы тяжести и магнитотеллурического поля, когда вариация силы тяжести резко меняет амплитуду, в течение некоторого времени остается на том же уровне (от нескольких часов до суток) и затем возвращается к первоначальным значениям. Но в неприливных вариациях силы тяжести существуют ещё пульсации, которые проявляются в виде уве-

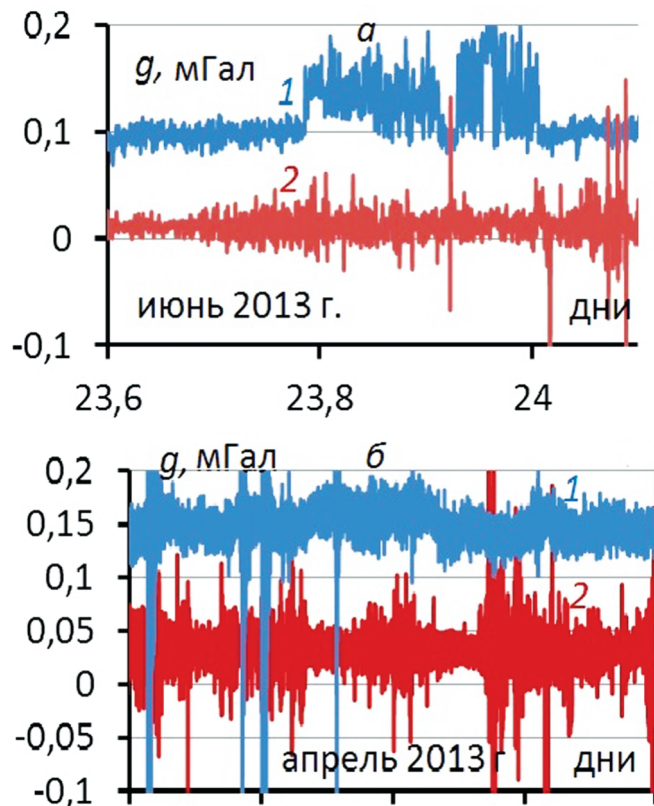


Рис. 2. Графики остаточных вариаций силы тяжести и компоненты H_z магнитотеллурического поля в июне и апреле 2013 г.: а — гравитационного и магнитотеллурического полей в июне 2013 г.; б — гравитационного и магнитотеллурического полей в апреле 2013 г.: 1 — остаточная неприливая вариация поля силы тяжести; 2 — остаточная вариация H_z магнитотеллурического поля

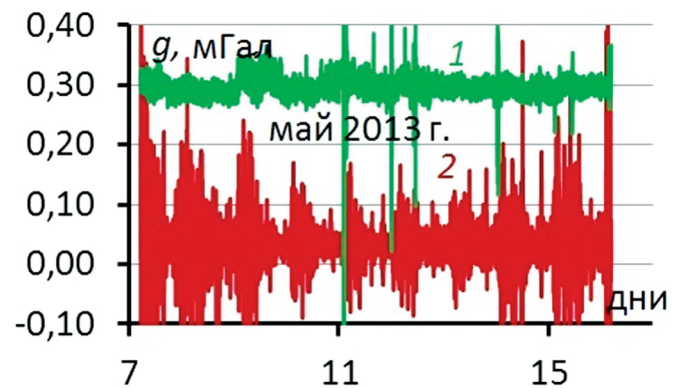


Рис. 3. Графики остаточных вариаций силы тяжести и компоненты H_z магнитотеллурического поля 7—16 мая 2013 г.: усл. обознач. см. рис. 2

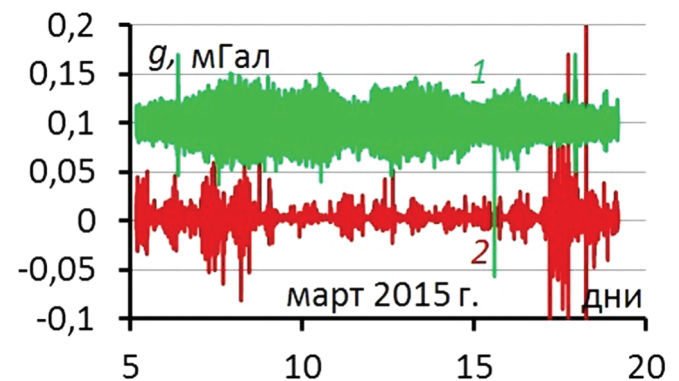


Рис. 4. Графики остаточных вариаций силы тяжести и компоненты H_z магнитотеллурического поля 5—19 марта 2015 г.: усл. обознач. см. рис. 2

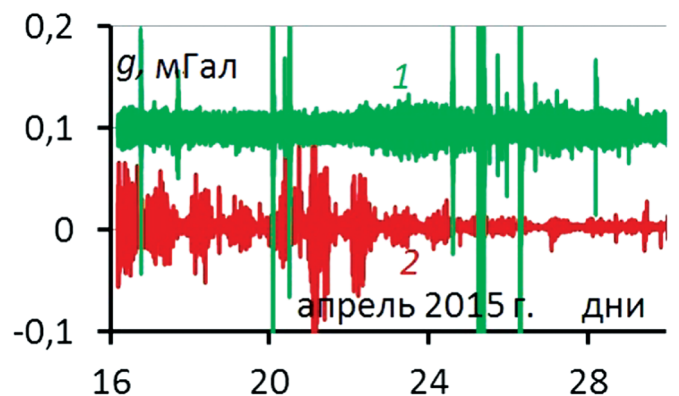


Рис. 5. Графики остаточных вариаций силы тяжести и компоненты H_z магнитотеллурического поля 16—30 апреля 2015 г.: усл. обознач. см. рис. 2

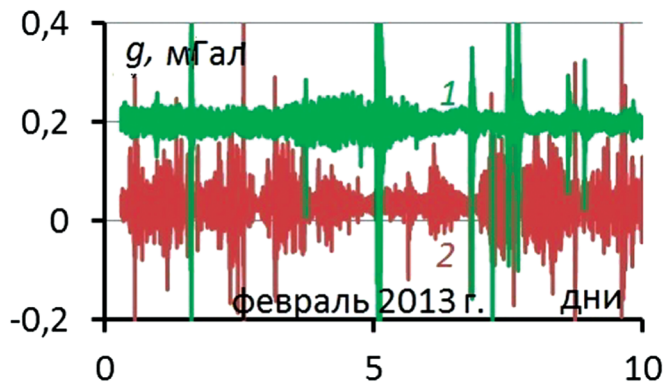


Рис. 6. Графики остаточных вариаций силы тяжести и компоненты H_Z магнитотеллурического поля 1—10 февраля 2013 г.: усл. обознач. см. рис. 2

личения амплитуды высокочастотных колебаний, сохраняя общий уровень амплитуды неприливной вариации. На рис. 3—6 отражен характер вариаций H_Z при наличии гравитационных пульсаций.

Вначале рассмотрим переходной вариант неприливной вариации силы тяжести (рис. 3), когда имеется в наличии скачок и пульсация. Вариации магнитотеллурического поля по амплитуде в несколько раз превышают среднестатистическую величину вариаций в обычные дни. Дело в том, что космическая погода в период с 2 по 15 мая 2013 г. была крайне неспокойной в рентгеновском диапазоне и отмечена относительным минимумом M1 только 4—6 мая. А 13—15 мая вообще разыгралась настоящая космическая буря амплитудой X3. Но эта буря никак не отразилась на магнитном поле Земли. Усредненный планетарный индекс магнитного возмущения Kp не превысил 4. Мы часто узнаем из метеосводок, что была вспышка на Солнце, но выброс корональных масс прошел мимо Земли. Чаше говорят, что вспышка не дошла до Земли. Да, иногда так бывает из-за места расположения выброса на Солнце. Поток заряженных частиц, скользя по силовым линиям солнечного магнитного поля, проходит мимо Земли, но в нашем конкретном случае, судя по спутниковым данным, этого не было. Во время пульсации неприливной аномалии магнитотеллурическое поле уменьшается по амплитуде и по окончании пульсации амплитуда H_Z возрастает. Создается впечатление, что существует некоторый фильтр, который ослабляет действие коронального выброса масс на магнитосферу. Сами пульсации, во время образования которых происходит уменьшение амплитуды магнитотеллурического поля, не могут быть фильтром. Но пульсации порождаются метеорными потоками [1], которые, вероятно, могут ослаблять поток заряженных частиц от Солнца.

Действительно, на время с 2 по 15 мая 2013 г. приходится метеорный поток Эта Аквариды. Эта Аквариды наблюдаются в срок между 24 апреля и 20 мая. Метеорный ливень связан с кометой Гал-

лея (1P/Галлея). Земля 5—7 мая проходила через пылевой шлейф кометы Галлея, который является источником ежегодного метеорного потока Эта Аквариды. Максимальный поток метеоров этого дождя продолжается довольно долго, и максимум проявления приходится на 5—7 мая. Эта Аквариды наблюдаются за несколько дней до и через несколько дней после упомянутой даты.

Последнее можно объяснить следующим образом. Переменное естественное электромагнитное поле Земли (магнитотеллурическое поле) порождается электрическими токами в ионосфере, дальними грозами и другими источниками, находящимися на достаточном удалении от точки наблюдения, и носит как глобальный, так и региональный характер [8]. Переменное магнитное поле по закону электромагнитной индукции создаёт вихревые электрические поля. Электрическое поле порождает в проводящей земле электрический ток, у которого имеется своё магнитное поле. Важно отметить, что хотя первичные электрические токи в земле порождаются индукционным способом, дальнейшее их взаимодействие с горизонтально-неоднородной средой приводит к возникновению вторичного поля как индукционной, так и гальванической природы.

За счёт явления скин-эффекта более высокочастотные колебания магнитотеллурического поля довольно быстро затухают с глубиной, в то время как низкочастотные компоненты поля проникают на большие глубины. Соответственно высокочастотные составляющие поля несут информацию лишь о приповерхностной части разреза. С понижением частоты вклад более глубоких частей разреза в наблюдаемое поле возрастает, и мы получаем информацию о глубинной части геоэлектрического разреза. Частотный состав вариаций электромагнитного поля Земли охватывает широкий диапазон: от 10^5 до 10^{-6} Гц [7]. Медленные изменения магнитотеллурического поля с периодом от нескольких минут до нескольких лет называют длинно-периодными вариациями. Изменения от долей секунд до нескольких минут называют короткопериодными колебаниями (КПК), а высокочастотные колебания с периодами, меньшими долей секунд, — атмосферными шумами. В практике разведочной геофизики наибольшее распространение имеют КПК, на использовании которых основаны методы магнитотеллурического профилирования и зондирования. КПК возникают при воздействии заряженных частиц, излучаемых Солнцем и попадающих в околоземное пространство. Предполагается, что в плазме, окружающей Солнце, поток заряженных частиц возбуждает магнитогидродинамические волны, которые, достигая ионосферы, превращаются в электрические волны.

Таким образом, метеорные потоки перекрывают путь заряженным частицам от Солнца и ослабляют

их воздействие на магнитосферу Земли и далее на магнитотеллурическое поле. Что касается воздействия метеорных частиц на ту часть магнитотеллурического поля, которая определяется грозами, спрайтами и голубыми джетами, то метеорный поток, вероятно, действует опосредованно. Вначале метеорный поток воздействует на атмосферу, в которой потом возникают грозы. Спрайты — условная гроза, которая начинается в ионосфере, а заканчивается в стратосфере. Голубые джеты — разряды, которые начинаются с верхней кромки грозового облака в тропосфере и заканчиваются в стратосфере.

Рассмотрим примерно такую же ситуацию ослабления магнитотеллурического поля (рис. 4), как и в предыдущем случае (рис. 3). Пульсации силы тяжести соответствует уменьшение амплитуды магнитотеллурического поля. Космическая погода с 5 по 19 марта 2015 г. была исключительно напряжённой. Все дни наблюдались вспышки в рентгеновском диапазоне не менее класса M0, а 8 и 11 марта произошли вспышки класса X1—X3. Но в это время магнитное поле Земли практически не менялось. Усредненный планетарный индекс Kp не превышал 4. И только 17—19 марта прошли магнитные бури класса G3—G1, когда закончились пульсации силы тяжести. Пульсации силы тяжести связаны с метеорным потоком Виргиниды. Он относится к потокам средней мощности, но в 2015 г. по мощности, как это нередко бывает с метеорными потоками, относился к очень сильным. Поток такой

же мощности отмечался только в 60-е гг. прошлого века.

Приведём примеры соотношения пульсаций силы тяжести и магнитотеллурического поля (рис. 5, 6), когда космическая погода спокойная. В первом случае пульсация силы тяжести (рис. 5) вызвана метеорным потоком Лириды, который постоянно регистрируется из года в год, а во втором (рис. 6) — вероятно, потоком Дельта Леониды, который проявляется достаточно редко.

Таким образом, высказанные предположения о том, что метеорные потоки служат своеобразным фильтром для ослабления потока заряженных частиц от Солнца, в какой-то мере подтверждается. Эти утверждения, если они действительно соответствуют реальному положению вещей, относятся в первую очередь к случаям, когда имеются пульсации силы тяжести, т. е. присутствуют метеорные потоки между Солнцем и Землей. А вот в случаях, когда имеются всплески неприливных вариаций силы тяжести (рис. 1—3), у авторов статьи вызывают некоторые сомнения. Несмотря на то, что при всплесках вариаций силы тяжести идёт заметное уменьшение амплитуды магнитотеллурического поля, не исключено, что здесь могут быть задействованы другие физические процессы. Тем не менее выявленные закономерности заслуживают дальнейшего изучения для установления истинной природы взаимосвязи неприливных вариаций силы тяжести и магнитотеллурического поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.В. Структура и морфология неприливных вариаций силы тяжести // Геофизика. 2015. № 1. С. 67—71.
2. Антонов Ю.В. Некоторые особенности неприливных вариаций силы тяжести // Геофизика. 2015. № 4. С. 47—52.
3. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сравнение приливных вариаций силы тяжести и вертикальной составляющей сейсмографа // Геофизика. 2013. № 2. С. 27—31.
4. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю., Рыбин А.К. Вариации гравитационного и магнитотеллурического полей. Воронеж // Вестник ВГУ. 2013. Серия Геология. Вып. 2. С. 129—133.
5. Антонов Ю. В., Антонова И.Ю., Рыбин А.К., Щелочков Г.Г. Модуляция вариаций вертикального градиента силы тяжести и электромагнитного поля собственными колебаниями Земли // Изв. вузов. Геология и разведка. 2010. № 6. С. 101—105.
6. Антонов Ю.В., Рыбин А.К., Матюков В.Е. Сравнение частотных и морфологических характеристик неприливных вариаций силы тяжести и магнитотеллурического поля // Изв. вузов. Геология и разведка. 2015. № 3. С. 101—105.
7. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. М.: Недра, 1992. 250 с.
8. Богачёв С.А., Кириченко А.С. Солнечные вспышки // Земля и Вселенная. 2013. № 5. С. 3—15.
9. Фаддеев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б. Естественные и аппаратные микрогальные эффекты прецизионных съёмки с гравиметрами Scintrex // Мат. 41-го Международного семинара им. Г.Д. Успенского «Вопросы интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей», 2014. Екатеринбург: Изд-во ИГФ УРО РАН, 2014. С. 254—256.