



Национальный
исследовательский

**Томский
государственный
университет**



**Радиофизический
факультет**



**8-я Международная научно-практическая конференция
Актуальные проблемы радиофизики
АПР 2019**

Сборник трудов конференции



**РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**1-4 октября 2019 года
г. Томск**

Рентгеновское излучение Солнца и геомагнитная возмущенность как экологические факторы влияния на человека

Тужилкин Дмитрий Алексеевич^{1,2}

Бородин Александр Семенович¹

Калюжин Вадим Витальевич³

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

³Сибирский государственный медицинский университет

E-mail: dmitry-88@mail.ru, bas_56@mail.ru, kalyuzhinvv@mail.ru

Анализ динамики временных рядов частоты вызовов скорой медицинской помощи в различных регионах показывает наличие определенных закономерностей. Отмечается, что изменчивость числа вызовов скорой помощи сопоставляется с динамикой внешних факторов – антропогенных, социальных, метеорологических и т.д. В рамках данной работы решалась проблема оценки степени биоэффективности космофизических параметров – рентгеновского излучения Солнца и геомагнитной возмущенности. При этом биоэффективность надо понимать как значимое влияние гелиогеофизических параметров на составляющие функции благополучия и экологического биотического потенциала популяции. В связи с этим анализировалась связь частоты экстренных вызовов скорой медицинской помощи в период с 1 октября по 25 ноября 2003 года с гелиогеофизическими параметрами. Используемая в работе исходная база данных по количеству экстренных вызовов скорой медицинской помощи предоставлена станцией скорой медицинской помощи г. Томска. Диагноз ставился в соответствии с Международной классификацией болезней и проблем, связанных со здоровьем МКБ-10. Первоначальные данные по сумме вызовов скорой помощи были стратифицированы в 12 групп (кластеров), в которые входили классы заболеваемости по МКБ-10, близкие по этимологии происхождения. Данные о параметрах рентгеновского излучения взяты из базы данных открытого доступа Space Physics Interactive Data Resource с интернет-сайта URL: <http://spidr.ngdc.noaa.gov>, локальный индекс геомагнитной возмущенности, параметры шумановских резонансов – из базы данных комплексного мониторинга в г. Томске кафедры Космической физики и экологии НИ ТГУ (интернет-сайт URL: <http://sosrff.tsu.ru>).

Выбранный период времени (с 1 октября по 25 ноября 2003 года), на спаде 23-го цикла солнечной активности, стал самым интенсивным по интегральной солнечной активности в этом цикле. Наиболее заметные изменения, а также мощные активные области сосредоточены преимущественно на одной стороне Солнца, обращенной в этот период времени к Земле. В этот промежуток времени были зарегистрированы мощные корональные выбросы массы, произошли наиболее интенсивные солнечные вспышки, в том числе рентгеновские вспышки класса X и выше, а также 3 геомагнитные бури с $Dst < -300$ нТ, одна из которых является сильнейшей в этом цикле и за последние полвека с $Dst = -429$ нТ. Следует отметить, что несколько сильных рентгеновских вспышек, произошедших в это время, не имели серьезных геомагнитных эффектов. В основном, негеоэффективными вспышками были вспышки класса менее X. При этом наиболее сильные геомагнитные бури всегда предварялись рентгеновскими вспышками, с задержкой между двумя событиями от $dT = 23$ ч до $dT = 58$ ч [1]. Как известно, рентгеновское излучение Солнца достигает Земли примерно за 8 минут, т.е. практически в момент возникновения вспышек на Солнце, тогда как возмущенные потоки солнечного ветра, ответственные за возникновение магнитных бурь, достигают Земли за сутки и более.

Рассчитанные далее коэффициенты кросскорреляции рядов данных геомагнитной возмущенности и логарифма потока рентгеновского излучения в целом отражают события на Солнце и в околоземном пространстве, происходящие в октябре–ноябре 2003 года. Признак-фактором в данном случае выбран поток рентгеновского излучения Солнца. Максимальные значения коэффициента корреляции ($r = 0.67$) наблюдаются при величине лага 9 ± 2 интервала, что, с учетом используемых усредненных трехчасовых данных, соответствует 27 ± 6 часам. Таким образом, анализируемые данные также демонстрируют, что более чем за сутки до сильного геомагнитного возмущения Земля подвергалась воздействию мощных всплесков рентгеновского излучения Солнца. Статистические характеристики изменчивости рассматриваемых гелиогеофизических факторов за анализируемый период времени приведены в таблице:

Фактор	Среднее	Станд. откл.	Минимум	Максимум
К лок., баллы	2.9	1.5	0	9
X, Вт/м ²	$6.7 \cdot 10^{-6}$	$4.3 \cdot 10^{-5}$	$9.7 \cdot 10^{-8}$	$7.1 \cdot 10^{-4}$

В соответствии со сказанным ранее, следует отметить, что эффект «опережающей реакции» биологических объектов на солнечные вспышки был известен еще в 30-е годы XX столетия. Получивший название эффекта Чижевского-Вельховера, он был обнаружен как проявление изменения интенсивности метахромазии коринобактерий, наблюдаемое за несколько часов до регистрации солнечных вспышек либо одновременно с ними. Анализ накопленных в последующие десятилетия экспериментальных и статистических данных подтвердил наличие досрочной реакции биологических объектов на сильные солнечные вспышки и

геомагнитные бури. В попытках дать объяснение наблюдаемым эффектам, А. Л. Чижевский предположил существование неизвестного Z-излучения Солнца, способного передавать биосфере информацию о процессах на Солнце в момент их возникновения. Впоследствии идея не нашла одобрения, а наиболее вероятным агентом воздействия активности Солнца на биосферу в настоящее время считают магнитное поле Земли. Так, например, показано, что имеет место совпадение реакции обследуемых (изменение показателей состояния организма) и появления интенсивных длиннопериодных колебаний геомагнитного поля (с периодами 2–240 минут) еще до начала геомагнитных бурь [2].

Вместе с этим, известно о влиянии рентгеновского излучения Солнца на изменение параметров шумановского резонатора [3, 4, 5]. Вариации параметров шумановских резонансов обусловлены большим числом факторов. Частоты и добротности основных мод определяются преимущественно характеристиками волновода Земля-ионосфера. В настоящее время для параметров резонанса выделяют три основные группы вариаций различной продолжительности и природы возникновения – асинхронные, синхронные и однократные. Однократные воздействия на ионосферу мощных внешних факторов, таких как всплески солнечного космического излучения, являются причиной возникновения однократных вариаций параметров шумановских резонансов. Мощные всплески рентгеновского излучения, достигая ионосферы, способны повышать степень ионизации ее D слоя. Вследствие этого наблюдается повышение его проводимости и понижение нижней границы слоя, что может привести к кратковременному повышению частоты резонанса. Напротив, при достижении ионосферы высокоэнергетических протонов после солнечного протонного события зона высокой проводимости слоя D может сместиться вверх, что понижает частоту резонанса.

Таким образом, поглощаясь в верхних слоях атмосферы и не доходя до поверхности Земли, рентгеновское излучение, тем не менее, способно опосредованно воздействовать на биологические объекты фактически одновременно с происходящими на Солнце событиями, модифицируя электромагнитный фон Земли КНЧ диапазона. Так, например, наиболее выраженные колебания частоты первой моды (F1) шумановского резонатора и показателя добротности (Q1) для первой моды (который можно трактовать как показатель суммарной запасенной энергии резонатора) в этот интервал времени совпадают со всплесками потока рентгеновского излучения Солнца (рис.1).

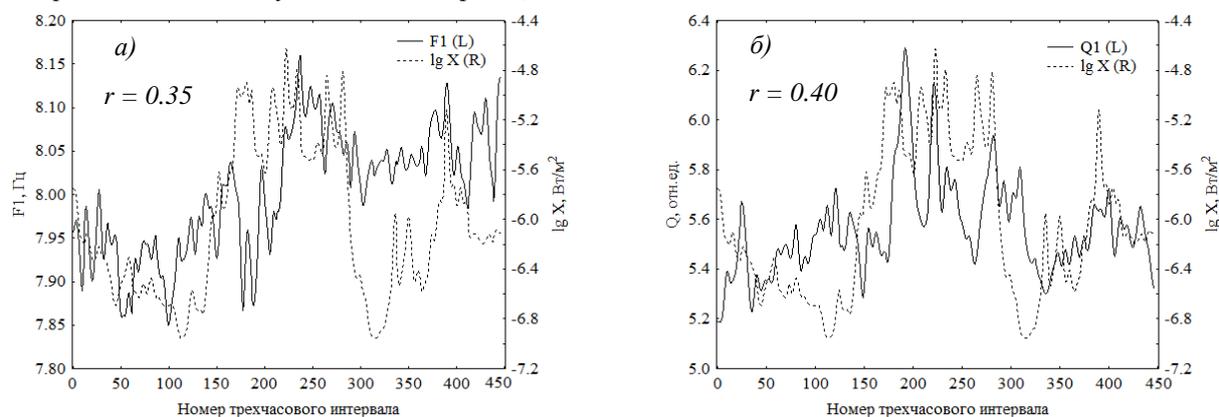


Рис.1 Динамика потока рентгеновского излучения ($lg X$) и а) частоты (F1), б) добротности (Q1) первой моды шумановского резонатора в октябре–ноябре 2003 года

Соответственно, геомагнитная активность (K лок) коррелирует с изменением параметров шумановских резонансов F1 и Q1 с коэффициентами $r = 0.35$ и $r = 0.01$ соответственно. Динамика вариаций других основных мод шумановских резонансов демонстрирует качественно схожую картину.

Если в анализируемый период времени в динамике показателей потока рентгеновского излучения Солнца и геомагнитной возмущённости имеет место ярко выраженный всплеск, то в характере изменения общего числа экстренных вызовов скорой помощи наблюдаются собственные вариации, которые, на первый взгляд, связать однозначно с гелиогеофизическими параметрами затруднительно (рис.2). Аналогичная ситуация просматривается и для каждого из выделенных ранее кластеров.

Поскольку исходные эпидемиологические данные представляют собой вариации частоты вызовов скорой медицинской помощи, которые связаны с воздействием как внутренних факторов, свойственных человеческому организму, так и внешних факторов, обусловленных влиянием полей окружающей среды, из анализируемых нозологических переменных с помощью алгоритма низкочастотной фильтрации (фильтр Хемминга) была удалена сезонная компонента их изменчивости во времени (соответствующая периоду 30 дней), после чего данные проинтегрированы в соответствии с выражением (1):

$$y_i = x_i + y_{i-1} \tag{1}$$

где x_i – текущее значение исходного ряда (i – номер трехчасового интервала).

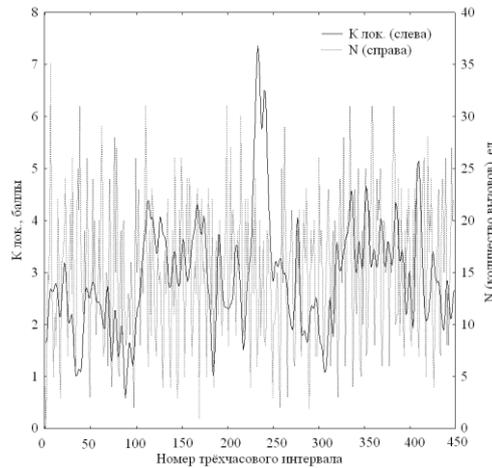


Рис.2 Динамика локальной геомагнитной возмущенности (К лок.) и частоты вызовов скорой помощи (N) в г. Томске в октябре–ноябре 2003 года

С целью выявления причинно-следственных отношений между полученными переменными, соответствующими числу вызовов скорой помощи, и внешними факторами проведен кросскорреляционный анализ. Признак-факторами в данном случае выступают локальная геомагнитная возмущенность (К лок.) и логарифм потока рентгеновского излучения Солнца (lg X); 12 кластеров вызовов скорой помощи и суммарное число вызовов (Sumv) – результативные переменные. Так как данные по динамике потока рентгеновского излучения и магнитной возмущенности имеют импульсный характер, а также следуя принципу физической причинности, расчет представленных в таблицах коэффициентов кросскорреляции и соответствующих лагов проводился не для всего объема имеющихся данных, а начиная с момента появления первых наиболее интенсивных солнечных вспышек этого периода (т.е. с 18 октября по 25 ноября 2003 года).

Результаты кросскорреляционного анализа динамики потока рентгеновского излучения Солнца (lg X) и числа вызовов скорой помощи в г. Томске приведены в таблице:

Переменные	r (при лаге = 0)	r (max)	лаг, час	лаг (min), час	лаг (max), час	размах, час
Кл. 1	0.24	0.35	42	-15	132	147
Кл. 2	0.35	0.39	-48	-129	90	219
Кл. 3	0.23	0.25	6	-27	39	66
Кл. 4	0.29	0.34	-21	-69	21	90
Кл. 5	0.42	0.47	27	-60	144	204
Кл. 6	0.17	0.18	-18	-33	24	57
Кл. 7	0	0.44	123	36	198	162
Кл. 9	0.17	0.24	-21	-93	48	141
Кл. 10	0.21	0.67	-99	-258	15	273
Кл. 11	0.37	0.54	-84	-204	21	225
Кл. 12	0.36	0.37	6	-183	57	240
Sumv	0.55	0.56	6	-117	183	300

Результаты кросскорреляционного анализа динамики локальной геомагнитной возмущенности (К лок.) и числа вызовов скорой помощи в г. Томске приведены в таблице:

Переменные	r (при лаге = 0)	r (max)	лаг, час	лаг (min), час	лаг (max), час	размах, час
Кл. 1	-0.27	-0.28	6	-21	30	51
Кл. 2	0	0.39	-123	-195	-69	126
Кл. 3	0.31	0.32	3	-48	33	81
Кл. 4	0	0.35	-168	-192	-135	57
Кл. 5	0.4	0.46	24	-54	60	114
Кл. 6	0.38	0.41	27	-45	75	120
Кл. 7	0.26	0.54	45	-9	99	108
Кл. 9	0	0.36	-192	-210	-159	51
Кл. 10	0	0.22	84	63	105	42
Кл. 11	0	0.38	-174	-246	-102	144
Кл. 12	0	-0.3	18	3	42	39
Sumv	0.36	0.39	24	-51	75	126

Приведенные выше таблицы демонстрирует отклик количества вызовов скорой помощи по различным выделенным кластерам на изменчивость показателей анализируемых гелиогеофизических параметров. Второй столбец таблиц (r при $\text{лаг} = 0$) отражает значения коэффициента корреляции при нулевом сдвиге результивной переменной относительно признак-фактора. Третий столбец таблиц – максимальный r , следом, в четвертом столбце – соответствующий ему лаг (сдвиг). Далее, пятый и шестой столбцы таблиц отражают соответствующие максимальному r границы области достоверных коэффициентов корреляции, выраженные в лагах. Последний столбец содержит размах, рассчитанный на основе предыдущих двух столбцов; в данном случае его можно трактовать как интервал времени, в течение которого соответствующая результивная переменная была наиболее подвержена влиянию признак-фактора. Стоит отметить, что максимальные значения этой величины не превышают длительности периода наиболее интенсивных солнечных вспышек и геомагнитной возмущенности, наблюдаемых в это время (порядка 18-19 суток). Что касается корреляционной связи, то в случае с потоком рентгеновского излучения Солнца все результивные переменные, за исключением кластера 7, демонстрируют максимальные коэффициенты корреляции либо вблизи нулевого лага, либо со сдвигом в пределах 2-4 суток. При этом при нулевом лаге кластер 7, в отличие от остальных кластеров, не обнаруживает значимой корреляционной связи с признак-фактором. Как кластер 7, так и кластеры 1 и 5, в отличие от других кластеров, имеют максимальные коэффициенты корреляции при значительном (сутки и более) положительном сдвиге. Если посмотреть на динамику этих кластеров (рис.3), то можно выделить общие закономерности их изменчивости. Так, все три кластера характеризуются резким увеличением числа вызовов после первого всплеска рентгеновского излучения и последующим резким снижением. Вероятно, наиболее восприимчивая группа пациентов, прореагировав на первые всплески рентгеновского излучения Солнца, обусловила последующий спад в динамике частоты вызовов скорой помощи во время следующих интенсивных вспышек. Соответственно, положительный сдвиг максимальных кросскорреляционных коэффициентов для этих кластеров обусловлен наличием схожих паттернов (резкий рост с последующим провалом) в динамике рассматриваемых рядов данных.

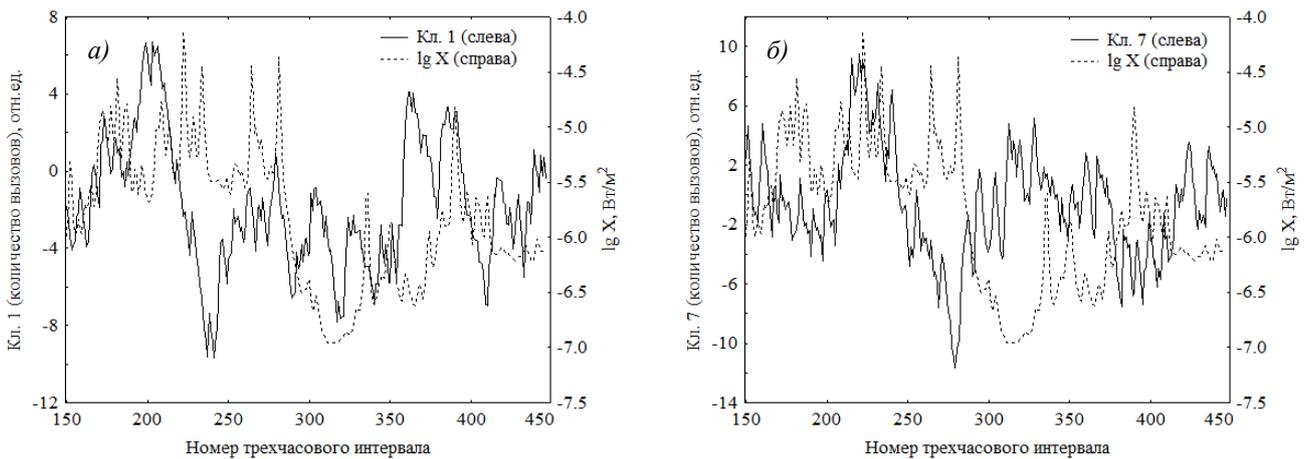


Рис.3 Динамика логарифма потока рентгеновского излучения ($lg X$) и частоты вызовов скорой медицинской помощи по а) кластеру 1 (Хронические формы ишемической болезни сердца) и б) кластеру 7 (Функциональные расстройства центральной нервной системы, психозы) за анализируемый период времени

Другая картина наблюдается для динамики локальной геомагнитной возмущенности – здесь при нулевом лаге лишь 5 кластеров, а также суммарное число вызовов характеризуются ненулевой корреляцией. Помимо этого, все кластеры, за исключением кл.1 и кл.12 характеризуются положительной корреляцией при временном сдвиге. Возможной причиной отрицательных корреляций может быть существенная временная задержка в отклике числа вызовов по отношению к вариациям гелиогеофизических факторов либо тот факт, что некоторые кластеры связаны между собой причинами, имеющими биологический характер. В отличие от предыдущего случая, для геомагнитной возмущенности уже четыре кластера характеризуются максимальным коэффициентом корреляции с временным сдвигом более 4 суток. Что характерно, все четыре случая демонстрируют отрицательные лаги – другими словами, максимальных отклик в изменении числа вызовов спустя 5 и более суток.

Кумулятивная частота вызовов скорой помощи (рис.4), как интегральная характеристика динамики вызовов по всем кластерам, характеризуется лагом 6 часов для потока рентгеновского излучения и 24 часа для геомагнитной возмущенности. Временной сдвиг в 6 часов – близок к нулевой отметке, а коэффициент корреляции в нуле и при лаге, равном 6, отличается на 0.01, что позволяет говорить об одномоментной изменчивости потока рентгеновского излучения Солнца и суммарной частоты вызовов скорой помощи. Для геомагнитной изменчивости положительный лаг в 24 часа, т.е. полные сутки, говорит об опережении на сутки

отклика числа вызовов по отношению к действующему фактору. При этом максимальный коэффициент корреляции отличается от коэффициента при нулевом сдвиге также незначительно, всего на 0.03. Соответственно, и часть кластеров характеризуется корреляцией с положительным сдвигом (опережением) от 3 часов до 3.5 суток по отношению к геомагнитному полю, что можно объяснить реакцией этих кластеров на поток рентгеновского излучения Солнца.

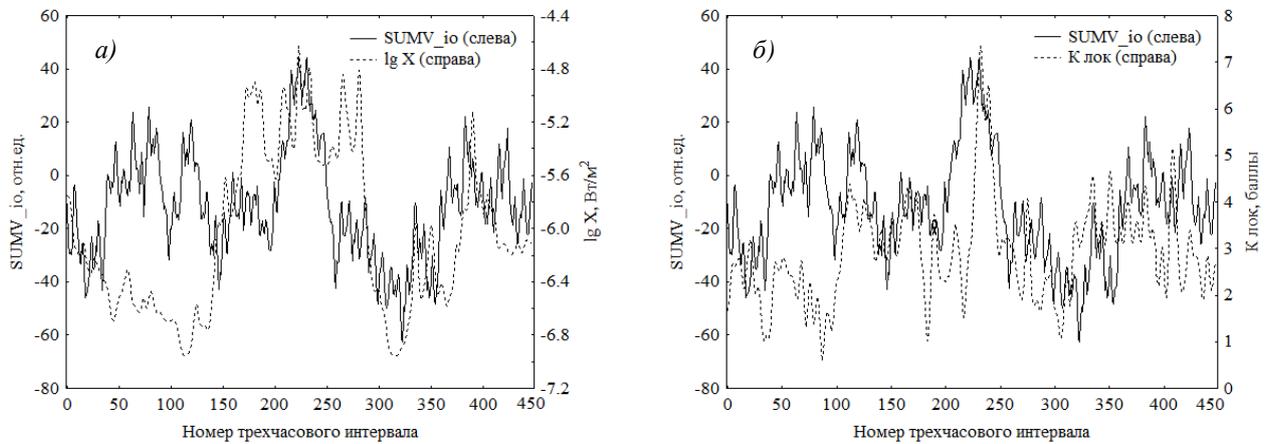


Рис. 4 Динамика кумулятивной частоты вызовов скорой помощи и а) логарифма потока рентгеновского излучения ($\lg X$); б) локальной геомагнитной возмущенности ($K_{\text{лок}}$) в г. Томске в октябре–ноябре 2003 года

Наблюдаемые задержки в отклике вариаций вызовов скорой помощи обусловлены одновременным ростом показателей, как рентгеновского излучения, так и геомагнитной возмущенности, что может объяснять известную в литературе задержку в 2–4 дня, получаемую разными авторами, в реакциях на изменения геомагнитной возмущенности [6].

Проведенное исследование позволило выявить статистически и клинически значимые корреляционные связи между числом вызовов бригад скорой медицинской помощи в г. Томске к пациентам с наиболее распространенными социально значимыми заболеваниями, с одной стороны, и локальной геомагнитной возмущенностью, а также мощностью потока рентгеновского излучения – с другой. Кумулятивное изменение общего числа вызовов скорой помощи при экстремальных изменениях гелиогеофизической активности пропорционально изменению амплитуды рентгеновского излучения Солнца в диапазоне от 1 до 8 Å и геомагнитной возмущенности с максимальными достоверными ($p \leq 0.05$) коэффициентами кросс-корреляции $r = 0.56$ и $r = 0.39$ и инерционными задержками на 6 часов и 24 часа соответственно. К особенностям настоящего исследования, во-первых, можно отнести то, что в нем установлена зависимость потребности в неотложной медицинской помощи от региональной электромагнитной обстановки. Тогда как традиционно в исследованиях подобного плана изучают биотропное действие комплекса только глобальных гелиогеофизических факторов. Во-вторых, установлено биотропное действие рентгеновского излучения Солнца, которое, как известно, до Земли не достигает, поглощаясь на высотах от 300–350 км до 80–100 км от поверхности Земли. Особенностью излучения является очень сильная зависимость его интенсивности от уровня солнечной активности, что наиболее сильно выражено в период солнечных вспышек. Объяснить биотропное действие рентгеновского излучения Солнца можно с помощью резонансного механизма солнечно-биосферных связей.

Список публикаций:

[1] Ермолаев Ю. И. и др. // *Геомагнетизм и Аэронавтика*. 2005. Т. 45. № 1. С. 23–50.
 [2] Khabarova O. V. // *Biophysics*. 2004. V.49 (1). P. S60–S67.
 [3] Башкуев Ю. Б. и др. // *Изв. вузов. Физика*. 2008. Т. 51. № 9/3. С. 209–212.
 [4] Roldugin V. C. et al. // *Annales Geophysicae, European Geosciences Union*. 1999. V. 17 (10). P. 1293–1297.
 [5] Sanfui M., Biswas D. // *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 2016. V. 27 (2). P. 253–259.
 [6] Borodin A.S. et al. // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015. V. 51 (8). P. 792–805.