

УДК 550.385.37

ЭФФЕКТЫ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТЕЙ В ВАРИАЦИЯХ СПЕКТРОВ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ НА КАМЧАТКЕ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ СОБЫТИЙ В ОКТЯБРЕ 2003 г.

© 2014 г. Г. А. Михайлова¹, О. В. Капустина¹, С. Э. Смирнов²¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Троицк, г. Москва*² *Институт космических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, п. Паратунка (Камчатский край)**e-mail: yumikh@izmiran.ru; sergey@ikir.ru*

Поступила в редакцию 25.03.2014 г.

Выполнен спектральный анализ записей метеорологических (температура, влажность, давление атмосферы) и электрических величин (напряженность квазистатического электрического поля и электропроводность воздуха), наблюдаемых одновременно в obs. “Паратунка” во время солнечных событий в период с 21 по 31 октября 2003 г. Используются также одновременные записи потоков рентгеновского излучения Солнца, галактических космических лучей и горизонтальной компоненты геомагнитного поля. Показано, что в спектрах мощности метеорологических величин в условиях “хорошей погоды” наблюдались колебания с периодом тепловых приливных волн ($T \sim 12$ и 24 ч), обусловленные притоком теплового излучения Солнца. Во время сильных солнечных вспышек и геомагнитной бури 29–31 октября при наличии преобладающего компонента с $T \sim 24$ ч в их спектрах появился дополнительный компонент с $T \sim 48$ ч (период волн планетарного масштаба). В спектрах мощности электропроводности атмосферы и напряженности электрического поля с развитием солнечной и геомагнитной активностей наблюдались компоненты как тепловых приливных волн, так и волн планетарного масштаба, сильно изменяясь по интенсивности. В спектрах мощности потоков галактических космических лучей, сопровождающих сильные солнечные вспышки, преобладали компоненты с $T \sim 48$ ч с появлением дополнительных более слабых по интенсивности компонентов с $T \sim 24$ ч. Одновременное усиление компонентов с $T \sim 48$ ч в спектрах мощности электропроводности и напряженности электрического поля указывает на тот факт, что во время сильных солнечных вспышек и геомагнитных бурь действующим ионизатором нижней тропосферы являются преимущественно галактические космические лучи. Выделенный период колебаний с $T \sim 48$ ч в их спектрах, а также в спектрах рентгеновского излучения Солнца, по-видимому, вызван динамикой солнечной и геомагнитной активностей с этим временным масштабом.

DOI: 10.7868/S0016794014050113

1. ВВЕДЕНИЕ

В условиях “хорошей погоды” в рамках модели шарового конденсатора, образованного поверхностью Земли и нижней границей ионосферы, ток проводимости в глобальной электрической цепи (ГЭЦ) определяется удаленными грозowymi источниками, так называемым глобальным грозowym генератором. Кроме него, существуют и другие дополнительные генераторы глобального масштаба: это ионосферный генератор (в динамо-области на $h \sim 100$ – 120 км), магнитосферный генератор и СКЛ в верхней атмосфере полярных широт, а также ГКЛ в средней атмосфере ($h \sim 15$ – 25 км).

В приземной атмосфере средних широт как части ГЭЦ, кроме глобальных источников, включаются локальные источники тока: это конвективный генератор и генератор сейсмической приоро-

ды, поставляющий в атмосферу радиоактивный газ, Rn. К локальным генераторам следует отнести и кучевые облака, отрицательно заряженные в нижней их части. Локальные генераторы, как известно, проявляют сильную зависимость от метеорологических величин (температуры, давления, влажности атмосферы и скорости ветра), которые, в свою очередь, зависят от солнечной активности. Ионосферное динамо вносит несущественный вклад в атмосферные параметры (~ 5 – 10%) [Roble, 1985]. На средних широтах в приземной атмосфере в условиях “хорошей погоды” следует также пренебречь действием СКЛ и магнитосферного генератора. Даже в полярных широтах вклад магнитосферного генератора составляет $\sim \pm 20\%$ относительно вклада грозowego генератора [Roble, 1985].

Во время сильных солнечных вспышек и геомагнитных бурь как глобальных процессов их влияние проявляется, прежде всего, в вариациях глобальных источников тока в ГЭЦ. Результаты анализа этих эффектов на средних и высоких широтах, приведены в довольно многочисленных работах и последовательно отражены в обзорах [Roble, 1985; Ruscroft et al., 2012], включая, в том числе, солнечное событие в августе 1972 г.

Подобные солнечные события произошли в октябре 2003 г. и ноябре 2004 г. Детальный анализ временных вариаций напряженности электрического поля и электропроводности атмосферы в приземной атмосфере на Камчатке во время этих событий ранее нами выполнен в работах [Смирнов и др., 2013; Смирнов и др., 2014]. При этом были рассмотрены одновременно наблюдаемые вариации локальных метеорологических величин (температура, давление, влажность атмосферы и скорость ветра), а также солнечных и геомагнитных параметров (потоки рентгеновского излучения как показателя уровня солнечной активности, потоки СКЛ и ГКЛ, *Dst*-вариации, *Kp*-индексы, горизонтальная компонента геомагнитного поля). Такой комплексный подход, впервые выполненный в исследованиях эффектов солнечных явлений в атмосферном электричестве приземной атмосферы, позволил отдельно выделить вклад глобальных и локальных источников во временных вариациях электропроводности атмосферы и напряженности электрического поля.

Временные вариации приведенных выше величин, естественно, связаны с динамикой атмосферы в этот период. В этой связи для обнаружения более четких причинно-следственных связей между рассматриваемыми величинами представляло интерес исследовать их частотные вариации в широком диапазоне периодов атмосферных волн: тепловых приливных волн (ТПВ, $T = 4-24$ ч) и волн планетарного масштаба (ВПМ, $T > 24$ ч). Первая попытка в этом направлении была реализована в работе [Смирнов и др., 2013] для солнечных событий в ноябре 2004 г. Настоящая работа является продолжением этих исследований для солнечных событий в октябре 2003 г.

2. ИСХОДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

На рисунке 1 приведены данные одновременных наблюдений следующих величин в период с 21 по 31 октября 2003 г.

Кривая 1 – напряженность квазистатического электрического поля (E_z -компонента), измеренная прибором “Поле-2” с точностью 0.3 В/м и с дискретностью по времени 1 мин, а также значения *Dst*-индекса (нТл), определенные с дискрет-

ностью по времени 1 ч (<http://spidr.ngdc.noaa.gov//spidr>).

Кривые 2 и 3 – электропроводности атмосферы, обусловленные отдельно положительными (λ_+) и отрицательными (λ_-) ионами и измеренные прибором “Электропроводность-2” с дискретностью по времени 1 мин.

Кривые 4–8 – соответственно, давление (P , гПа); температура (T , С); влажность (V , %); осадки; скорость ветра (U , м/с), измеренные с дискретностью по времени 10 мин цифровыми станциями WS-2000 и WS-2300. Выходные данные поступают в обсерваторию по радиоканалу на частоте 433 МГц. На кривую 4 нанесена дополнительно кривая записи горизонтальной компоненты геомагнитного поля (H , нТл), измеренная феррорезонансным магнитометром FRG-601G с точностью 0.01 нТл и с дискретностью по времени 1 мин.

Кривые 1–8 построены по результатам наблюдений в obs. “Паратунка” ($\varphi = 58.9^\circ$ N; $\lambda = 158.25^\circ$ E; $\Phi = 46.37^\circ$; $L = 2.1$). В работе использованы также данные наблюдений состояния облачности и осадков на местной метеорологической станции. К сожалению, в обсерватории отсутствуют актинометрические наблюдения.

Кривая 7 – трехчасовые значения *Kp*-индекса.

Кривая 9 – потоки галактических космических лучей (N – число частиц/мин), измеренные нейтронным монитором с дискретностью по времени 1 мин в obs. “Стекольный” ИКИР ДВО РАН.

Кривая 10 – последовательность солнечных вспышек, измеренная в потоках X -лучей ($\text{Вт}/\text{м}^2$) на спутнике GOES-12 (<http://goes.ngdc.noaa.gov//data/avg>).

В дополнение к этому рисунку в таблице приведена более детальная хронологическая последовательность этих событий, подробно описанная в статье [Веселовский и др., 2004], а на рис. 2 показана в увеличенном масштабе последовательность нескольких, наиболее интересных фрагментов записей электропроводности и напряженности электрического поля в зависимости от времени UT (в обсерватории местный полдень наступает в 01:45 UT, а полночь – в 10:55 UT). Детальный анализ временных вариаций записей, показанных на рис. 1, выполнен в работе [Смирнов и др., 2013]. Ниже приводятся результаты их спектрального анализа.

3. МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Для оценки спектральной плотности мощности (далее, спектра мощности) использован классический метод периодограмм. Выбор длительности T временного “окна” ($T = 2$ сут) обусловлен продолжительностью периодов аномальных всплесков солнечной (22–23; 26–27; 28–29; 29–30 октября) и соответственно, геомагнитной (24–

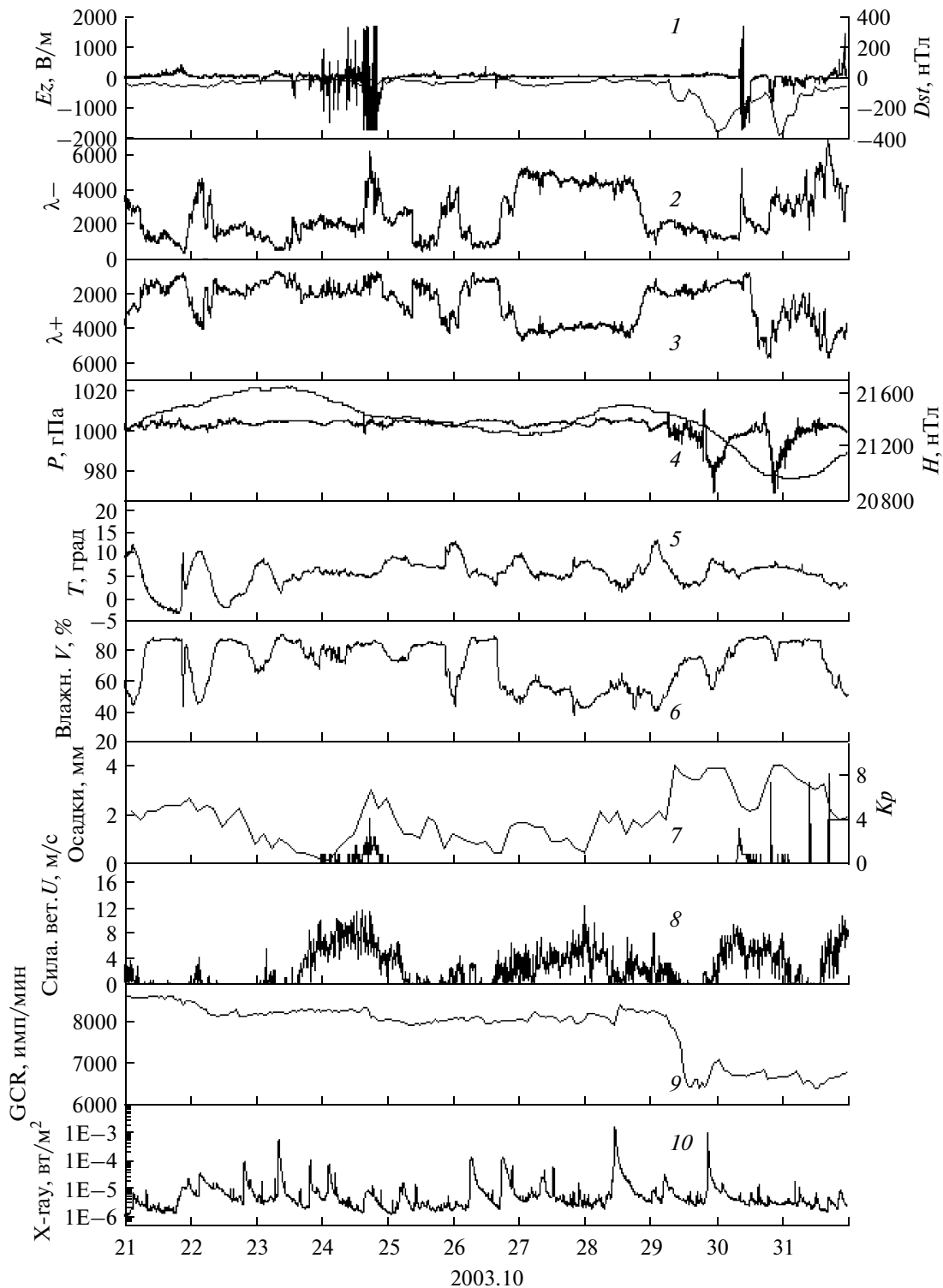


Рис. 1. Суточные вариации напряженности электрического поля, электропроводности атмосферы, метеорологических, геофизических и солнечных величин в период 21–31 октября 2003 г.

25; 29–30; 30–31 октября) активностей. Далее использован метод наложенных эпох, в котором в качестве опорных дней для сравнения выбраны дни “хорошей погоды” 21–22 октября до момента

появления сильной солнечной вспышки 23 октября. В этот период действительно сохранялись условия “хорошей погоды”: слабый ветер с $U < 4$ м/с; отсутствие осадков; наличие высоких слоистых

Вспышечные события в АО 10484 и 10486 в период 19–31 октября 2003 г. и их проявления в околоземном пространстве [Веселовский и др., 2004], данные из INTERNET: Dst – (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>); Kp – (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/cgi-bin/kp-cgi>)

Дата	Вспышка		SC UT	Dst , нТл	Kp	СКЛ E , МэВ P , см ⁻² с ⁻¹ ср ⁻¹	ГКЛ, %	Главная фаза бури
	Время, UT Длит., мин	Балл						
19	16:29; 79	X1.1/1N		-40	5-			
22	19:45; >41	M9.9		-33	3-			
23	08:17; 64	X5.4/1B		-21	2		-5	
23	19:50; 38	X1.1/1N		-11	1-		-5	
24	02:22; 66	M7.6/1N		-8	1+		-3	
26	05:17; 213	X1.2/3B		-27	2		-7	
26	17:17; 179	X1.2/1N		-5	3-	2; 10	»	
26	21:26; 60	M7.6/2N		-16	4-		»	
27	09:21; 23	M5.0/1F		-49	2		-6	
27	12:27; 37	M6.7/1F		-41	2		»	
28	09:51; >269	X17.2/4B		-30 -80	4+ 8-	1 1000	-10	
29	20:37; 136	X10.0/2B		-233	9-	»	-5 -25	14.00–29
30				-350	9-	»	-15	00.01 30 $\tau = 11$ ч.
30				-100	9	»	-22	18.00–30
30				-383	9	»	-24	23.00 30 $\tau = 5$ ч

облаков; спокойная солнечная активность, проявившаяся в регулярных суточных вариациях температуры и влажности; относительно спокойная геомагнитная активность ($Kp \sim 4$); типичные для этих условий суточные вариации электропроводности и Ez -компоненты поля (рис. 2а) [Смирнов, 2013]. Поскольку метеорологические величины оцифрованы с дискретностью по времени $\Delta t = 10$ мин, все, использованные в спектральной обработке данные, оцифрованные с $\Delta t = 1$ мин, были сведены к шагу по времени $\Delta t = 10$ мин. Рассчитанные спектры мощности S всего комплекса анализируемых величин на рис. 3 представлены в линейном масштабе, за исключением X -лучей, изменяющихся в очень широких пределах (10^{-3} – 10^{-5} Вт/м²). Их спектры SX приводятся на графиках в логарифмическом масштабе.

4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 3 приведены спектры мощности показанных на рис. 1 величин в выделенные временные интервалы: 21–22 октября – дни “хорошей погоды”; 22–23 октября – период повышенной солнечной активности с серией солнечных вспышек (X -лучи до 10^{-4} Вт/м²); 24–25 октября – период высокой ($Kp \sim 6$) геомагнитной активности с появлением сильной грозовой активности; 28–29 октября – сложный период, когда произошли две солнечных вспышки с одновременно высокой геомагнитной активностью ($Kp \sim 9$); 29–30 октября – одна, но достаточно мощная ($\sim 10^{-3}$ Вт/м²) солнечная вспышка с продолжительным периодом высокой геомагнитной активности и Форбуш-понижением ГКЛ; 30–31 октября – период

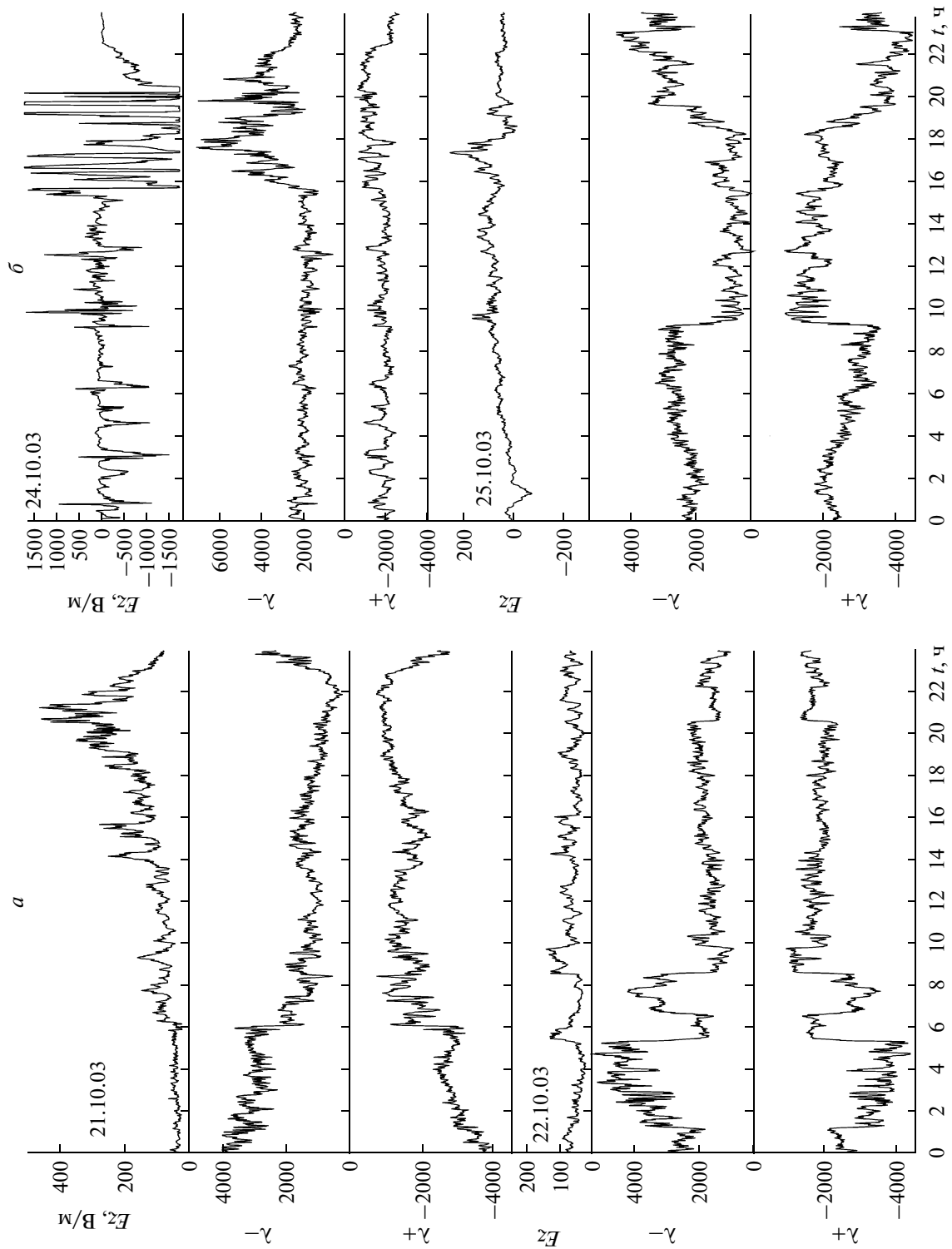


Рис. 2. Суточные вариации напряженности электрического поля и электропроводности атмосферы в выделенных интервалах наблюдений (а, б, в, г).

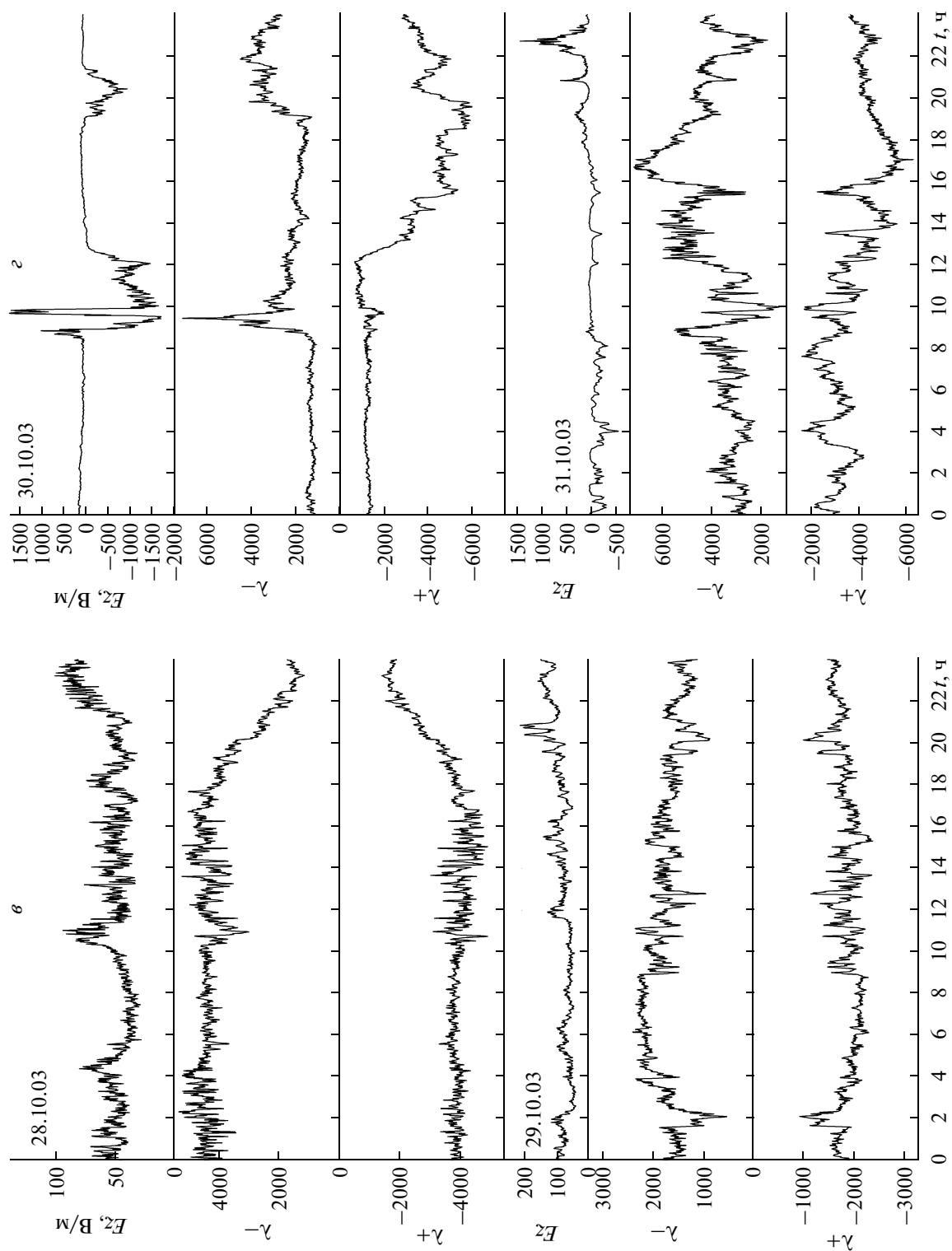


Рис. 2. Окончание.

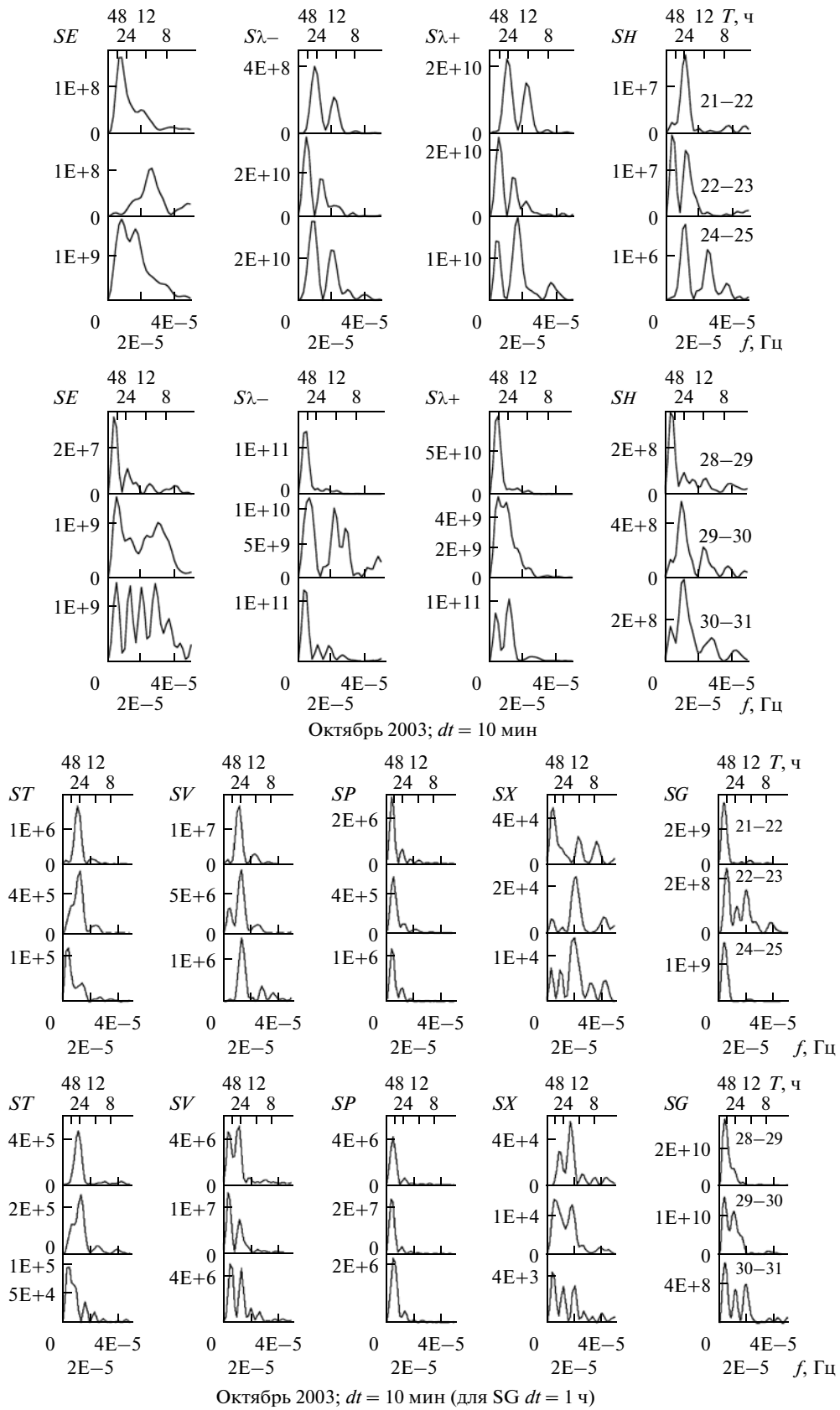


Рис. 3. Последовательность кривых спектральной плотности мощности параметров, приведенных на рис. 1, для событий, выделенных на рис. 2. На нижней оси абсцисс показана частота, f , Гц, а на верхней — соответствующие периоды T .

высокой геомагнитной активности с появлением кратковременной грозовой активности.

Рисунок 3а, б позволяет проследить вариации спектров мощности рассматриваемых параметров в период с 21 по 31 октября (разрезы по вертикали), а также взаимосвязь этих параметров в отдельные периоды времени (разрезы по горизонтали).

Рассмотрим вариации спектров мощности метеорологических величин: температуры и влажности воздуха (ST и SV).

В условиях “хорошей погоды” 21–22 октября до сильной солнечной вспышки тепловая радиация с известными суточными вариациями поступает на землю через, так называемое, окно “прозрачности” (инфракрасное и видимое излучение, а также крайнее УФ-излучение) и определяет спектр мощности температуры и влажности воздуха. В результате в их спектрах (ST и SV) присутствуют компоненты тепловых приливных волн: S_{\max} на $T \cong 24$ ч и слабые дополнительные максимумы на $T \sim 12$ и 48 ч.

С усилением солнечной активности 22–23 октября в спектре температуры ST появляется неразрешенный по частоте компонент с $T \sim 48$ ч, который в дальнейшем во время магнитной бури 24–25 октября становится преобладающим, а интенсивность компонентов с $T \sim 12$ и 24 ч заметно уменьшается. Далее с развитием солнечной и геомагнитной активностей оба компонента с $T \sim 24$ и 48 ч то усиливаются, то ослабляются, но при этом постоянно присутствуют в спектре ST . Такие же сложные изменения испытывают спектры мощности влажности воздуха (SV). Их характер дополнительно изменяется за счет выпадения осадков во время грозовых процессов 24, 30 и 31 октября. Совершенно другой характер спектров наблюдается в вариациях давления воздуха (SP) на протяжении всего периода развития солнечных и геомагнитных процессов: присутствует преобладающий компонент с $T \sim 48$ ч со слабо выраженным компонентом на $T \sim 24$ ч. При этом интенсивность этого максимума изменяется незначительно, за исключением периода 29–30 октября, когда наблюдается возрастание спектральной плотности почти на порядок по величине.

Далее рассмотрим спектры мощности рентгеновского излучения Солнца (SX) и галактических космических лучей (SG).

Известно [Fontenla et al., 2004; Woods et al., 2004], что наличие активной области на диске Солнца увеличивает поток излучения во всем диапазоне ЭМИ. Для оценки волновых процессов на Солнце воспользуемся записями интенсивности рентгеновского излучения, характеризующего интенсивность вспышек. (В нашем случае это довольно грубый подход к оценке процессов в приземной атмосфере). Анализ спектров SX показывает следующее: в условиях “хорошей погоды” 21–

22 октября в спектре SX присутствует широкий набор компонентов и тепловых приливных волн (24, 12, 8 ч), и волн планетарного масштаба ($T \sim 48$ ч). С развитием солнечной и геомагнитной активностей спектральный состав сохраняется, но интенсивность различных компонентов сильно изменяется. Можно предположить, что подобный характер спектра сохраняется и в полосе “окна прозрачности” атмосферы, через которое к земле поступает дополнительный приток тепла, влияющий на температуру и влажность воздуха.

В этот период наблюдался столь же сложный характер спектров мощности галактических космических лучей (SG). В условиях “хорошей погоды” 21–22 октября во временной вариации ГКЛ (рис. 1 кривая 10) видно относительно слабое понижение потока ГКЛ, вызванное предшествующей солнечной вспышкой 20 октября (отсутствует на рисунке, но см. [Ермолаев и др., 2004]). Следующий момент понижения потока ГКЛ сопровождал вспышку 23 октября, что также отразилось в спектре усилением компонента с $T \sim 48$ ч. При сильном понижении потока 29 октября интенсивность этого компонента возросла на порядок по величине по сравнению с периодом 21–22 октября. В восстановительный период в спектрах мощности SG к преобладающему компоненту с $T \sim 48$ ч добавились компоненты с $T \sim 12, 24$ ч. Поскольку понижение интенсивности потоков ГКЛ связано с усилением солнечного ветра, блокирующего эти потоки, можно предположить, что спектральный состав ГКЛ определяется периодичностью процессов на Солнце, которая также проявляется в спектральном составе рентгеновских лучей.

Рассмотрим спектры мощности параметров атмосферного электричества: электропроводности воздуха $S\lambda_+$ и $S\lambda_-$ и напряженности электрического поля SE . 21–22 октября в условиях “хорошей погоды” в спектре мощности SE преобладает широкий максимум интенсивности в полосе периодов $24 \text{ ч} < T < 48 \text{ ч}$ и более слабый максимум с $T \sim 12$ ч. При солнечной активности 22 и 23 октября спектр изменился таким образом, что почти вся мощность оказалась сосредоточенной в полосе периодов 12–24 ч. Вместе с тем во время солнечных вспышек 28–29 октября спектр мощности обогатился компонентом в широком диапазоне периодов 12–48 ч. Во время магнитных бурь 24–25 и 29–30 октября в спектре преобладают компоненты с $T \sim 48$ ч, по интенсивности превышающие на порядок по величине соответствующий компонент 21–22 октября. Сложный характер спектра SE 24–25 и 30–31 октября связан с влиянием грозовой активности, наблюдаемой в эти дни.

Столь же сложный характер спектров мощности $S\lambda_+$ и $S\lambda_-$ наблюдался в эти дни. В условиях “хорошей погоды” 21–22 октября в спектре выде-

лены два компонента 12 и 24 ч, совпадающие с периодами тепловых приливных волн. Но с усилением солнечной активности 22–23 октября наблюдалось усиление преобладающего компонента с $T \sim 48$ ч на фоне компонентов с $T \sim 24, 12, 8$ ч. Во время магнитной бури и соответствующим понижением потоков ГКЛ спектры мощности $S\lambda_+$ и $S\lambda_-$ расширяются в область более высоких периодов ($T \sim 48$ ч). Появление грозových процессов, сопровождаемых осадками, несущими дополнительные объемные заряды, в спектрах появляются компоненты с $T \sim 12$ ч, но более слабой интенсивности по сравнению с компонентом с $T \sim 48$ ч.

В рамках модели шарового конденсатора плотности тока в атмосфере определяется следующим выражением [Тверской, 1949]:

$$j = \lambda E + \rho v + D_t \Delta \rho + \Sigma j_s,$$

где $\lambda = e \Sigma (n_{i+} U_{i+} + n_{i-} U_{i-})$, n_i – концентрация положительных и отрицательных ионов, преобладающих в нижней атмосфере; λE – ток проводимости, определяемый грозovým генератором; ρ – объемный заряд; v – скорость движения среды; D_t – коэффициент турбулентности диффузии. Последний член выражения включает в себя токи различных источников, в том числе токи осадков ($j = \Sigma q_m n_m v_m$, где, соответственно, q_m – заряд, n_m – концентрация, v_m – скорость падения частиц при осадках); а также токи глобальных источников (СКЛ и ГКЛ), вносящих свой вклад в ток глобальной электрической цепи.

В условиях “хорошей погоды” влияние солнечной активности на плотность тока j и соответственно на напряженность электрического поля проявляется несколькими путями. Во-первых, через изменение проводимости воздуха, которая определяется концентрацией ионов и их подвижностью. Из-за низких температур в октябре (кривая 5, рис. 1) при наличии снежного покрова и выпадающих осадков (кривая 7, рис. 1) выход подпочвенного воздуха, содержащего радон, задерживается [Moses et al. 1960]. А вклад галактических космических лучей в нижнюю тропосферу незначительный, так что проводимость воздуха при слабо изменяющейся концентрации ионов определяется их подвижностью, которая зависит от температуры воздуха [Брикар, 1969]. Кроме того, связь с солнечной активностью проявляется в эффектах восхода и захода Солнца через действие локального конвективного генератора [Смирнов, 2013], когда с повышением температуры усиливаются конвективные и турбулентные потоки тепла, вносящие свой вклад в плотность тока (члены ρv и $D_t \nabla \rho$). Эта связь с солнечной активностью проявилась в совпадающих вариациях спектров мощности температуры (ST), влажности (SV), электропроводностей ($S\lambda_{\pm}$), и частично в SE , в которых присутствуют компоненты тепловых при-

ливных волн. Дополнительно влияние солнечной активности проявилось через действие облачности и осадков, которые наблюдались в обс. “Паратунка” в рассматриваемый период скорее эпизодически, чем периодически. Их вклад проявился в вариациях электропроводности (кривые 2 и 3, рис. 1).

В возмущенных условиях при сильных солнечных вспышках (см. таблицу) вступают в действие в ГЭЦ глобальные ионизаторы атмосферы: солнечные (СКЛ) и галактические (ГКЛ) космические лучи. В период 21–31 октября, как видно на рис. 22 в работе [Веселовский и др., 2004], после сильной солнечной вспышки 26 октября поток ядер СКЛ в северном полушарии 27 октября возросло с 1 до $\sim 10^2$, а 28–29 октября до $\sim 10^3$ ч/см² с ср при относительно спокойных вариациях ГКЛ (кривая 9, рис. 1). При этом, как известно, снижается граница жесткого обрезания потоков СКЛ. Это не могло не привести к росту концентрации ионов в тропосфере и соответственно проводимости в ГЭЦ. По-видимому, этим процессом качественно можно объяснить высокий постоянный уровень электропроводности в течение суток 27 и 28 октября и присутствие в спектрах $S(\lambda_{+,-})$ и SE преобладающего компонента с $T \sim 48$ ч. Но с началом геомагнитной бури и вступлением сильного эффекта Форбуш-понижения ГКЛ в 16.00 UT (кривая 10, рис. 1), который подавил действие СКЛ и расширил спектр мощности $S\lambda_{\pm}$ и SE в область более коротких периодов ($T < 48$ ч). В итоге глобальные источники ионизации атмосферы в этот аномальный период солнечной активности подавили действие локальных источников: и конвективного генератора, и облаков, и осадков.

5. ВЫВОДЫ

Исследования спектров мощности метеорологических и электрических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий в октябре 2003 г. показали следующее:

1. В условиях “хорошей погоды” в спектрах мощности температуры и влажности атмосферы наблюдались колебания с периодами тепловых приливных атмосферных волн ($T \sim 12, 24$ ч), обусловленные притоком теплового излучения Солнца.

2. Во время сильных солнечных вспышек, сопровождаемых поступлением в нижнюю тропосферу дополнительного притока тепла, нарушается суточный ход и обратная связь между температурой и влажностью атмосферы. При наличии преобладающего компонента с $T \sim 24$ ч в спектре влажности появился дополнительный компонент с $T \sim 48$ ч (период атмосферных волн планетарного масштаба).

3. Подобный спектр мощности этих величин сохраняется во время магнитной бури 29–31 октября.

4. В спектрах мощности атмосферного давления в условиях “хорошей погоды” наблюдался широкий спектр колебаний 12, 24, 48 ч, но преобладал компонент с $T \sim 48$ ч. С развитием солнечной активности сохранялся такой характер спектра, но во время геомагнитной бури интенсивность компонента с $T \sim 48$ ч возросла на порядок по величине по сравнению с условиями “хорошей погоды”.

5. В спектрах мощности электропроводности атмосферы в условиях “хорошей погоды” присутствовали компоненты с $T \sim 12$ и 24 ч. Вместе с тем в спектре мощности электрического поля, кроме слабо выраженных этих компонентов, преобладал компонент с $T \sim 48$ ч.

6. При сильных солнечных вспышках и магнитной буре в спектрах мощности электропроводности отчетливо проявились компоненты почти равной интенсивности на $T \sim 24$ и 48 ч. Спектр электрического поля был более сложный (за счет влияния грозных процессов), но с преобладающим компонентом с $T \sim 48$ ч, интенсивность которого возросла на порядок по величине по сравнению с условиями “хорошей погоды”. Подобный характер спектра мощности электрического поля наблюдался также во время солнечных и геомагнитных событий в ноябре 2004 г. [Смирнов и др., 2013].

7. В спектрах мощности потоков галактических космических лучей, сопровождающих сильные солнечные вспышки, преобладал компонент с $T \sim 48$ ч, который усилился на порядок по величине во время Форбуш-понижения 29 октября. Подобный характер спектров наблюдался также во время магнитных бурь в ноябре 2004 г. [Смирнов и др., 2013]. Одновременное усиление компонентов с $T \sim 48$ ч в спектрах мощности электропроводности воздуха и напряженности электрического поля указывает на тот факт, что во время сильных солнечных вспышек и магнитных бурь действующим ионизатором нижней тропосферы являются преимущественно галактические космические лучи.

8. Выделенный период колебаний с $T \sim 48$ ч в спектрах галактических космических лучей, а также в спектрах рентгеновского излучения Солнца, по-видимому, вызван динамикой солнечной и геомагнитной активностей с этим временным масштабом.

В заключении авторы благодарят В.К. Михайлову за помощь в оформлении рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брикар Дж. Влияние радиоактивности и загрязнений на элементы атмосферного электричества // Проблемы электричества атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, С. 68–105. 1969.
- Веселовский И.С. и + 52 соавтора. Солнечные и гелиосферные явления в октябре–ноябре 2003 г.: причины и следствия // Космич. исслед. Т. 42. № 5. С. 453–508. 2004.
- Лебединский А.И., Андрианов Ю.Г., Караваев И.И. и др. Корреляционные зависимости спектральной интенсивности инфракрасного излучения Земли в космосе // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 8. № 1. С. 9–14. 1968.
- Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Вариации квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке во время геомагнитных бурь в ноябре 2004 г. // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 53. № 4. С. 532–546. 2013. doi: 10.7868/S0016794013040147.
- Смирнов С.Э. Влияние конвективного генератора на суточный ход напряженности электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 53. № 4. С. 547–552. 2013.
- Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Вариации электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий в октябре 2003 г. // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 54. № 2. С. 257–265. 2014.
- Тверской П.Н. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеоиздат, 252 с. 1949.
- Fontenla J.M., Harder J., Rottman G. et al. The signature of solar activity in the infrared spectral irradiance // Astr. J. V. 605: L85–L88. 2004.
- Moses H., Stehly A.F., Lucas H.F. The effect of meteorological variables upon the vertical and temporal distributions of atmospheric radon // J. Geophys. Res. V. 65. № 4. P. 1223–1238. 1960.
- Roble R.G. On solar-terrestrial relationships in atmospheric electricity // J. Geophys. Res. V. 90. № D4. P. 6000–6012. 1985.
- Rycroft M.J., Nicoll K.A., Alpin K.L., Harrison R.G. Recent advances in global electric circuit coupling between the space environment and the troposphere // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. V. 9091. P. 198211. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2012.03.015>
- Woods T.N., Eparvier F.G., Fontenla J. et al. Solar irradiance variability during the October 2003 solar storm period // Geophys. Res. Lett. V. 31. L10802, doi:10.1029/2004 GL 019571.2004.