

УДК 551.52;551.59;551.594.21

ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ

© 2019 г. С. Э. Смирнов^{1, *}, Ю. М. Михайлов^{2, **}, Г. А. Михайлова², О. В. Капустина²

¹Институт космических исследований и распространения радиоволн (ИКИР ДВО РАН),
пос. Паратунка, Камчатский край, Россия

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк, Россия

*e-mail: sergey@ikir.ru

**e-mail: yumikh@izmiran.ru

Поступила в редакцию 29.03.2019 г.

После доработки 14.05.2019 г.

Принята к публикации 23.05.2019 г.

Зимние грозы на Камчатке – редкое метеорологическое явление. Для исследования природы этого явления в качестве индикатора грозовой активности в работе использованы временные вариации квазистатического электрического поля и метеорологических величин в обс. Паратунка ИКИР ДВО РАН ($\varphi = 52.97^\circ \text{ N}$; $\lambda = 158.25^\circ \text{ E}$), а также доступные в INTERNET данные о солнечной, сейсмической и циклонической активностях. Показано, что для формирования грозовой активности возможным дополнительным источником тепла в приземной атмосфере Камчатки могут быть мощные солнечные вспышки, сопровождаемые усилением излучения в видимом и инфракрасном спектрах, а также инфракрасное излучение Земли, поступающее в атмосферу перед мощными землетрясениями с магнитудой $M > 8$. Вклад тропических циклонов в эти процессы при слабой сейсмической активности определен недостаточно четко и нуждается в дальнейшем детальном изучении.

DOI: 10.1134/S0016794019060117

1. ВВЕДЕНИЕ

Зимние грозы на п-ове Камчатка – очень редкое метеорологическое явление, которое наблюдается, по одним данным, один-два раза в течение пяти лет, а по другим – в течение двух лет. Синоптики связывают это явление с особенностями местного климата, который отличается сильной неустойчивостью, определяемой влиянием окружающих морей, постоянным движением воздушных масс из-за перепадов атмосферного давления и влиянием циклонов, приходящих с Тихого океана. Тропические циклоны приносят на полуостров теплый и влажный воздух, вызывая летом продолжительные обильные ливни, а зимой снежные бури. Несмотря на высокую циклоническую активность, среднее число грозových дней в год на полуострове, согласно данным (<https://yandex.ru/pogoda/paratunka/month>), составляет величину 10.8. Следовательно, для образования грозových облаков, кроме циклонов, возможно действие и других источников дополнительной тепловой энергии, поступающей в приземную атмосферу. Действительно, в работах [Смирнов и др., 2013, 2014] было обнаружено появление грозových процессов после мощных солнечных вспышек, сопровождаемых усилением солнечного излучения в видимом и инфракрасном диапазонах

спектра. Кроме этого, в работе [Смирнов и др., 2017] были обнаружены грозových явления за 6–7 сут до сильных землетрясений с магнитудой $M > 8$.

Настоящая работа посвящена детальному анализу условий появления зимних гроз на Камчатке по одновременным записям напряженности квазистатического электрического поля и метеорологических величин, а также по данным солнечной, циклонической и сейсмической активностей, используемым для оценки их вклада в развитие грозových процессов в приземной атмосфере.

2. ИСХОДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В качестве индикатора грозовой активности рассмотрены суточные вариации напряженности квазистатического электрического поля (E_z -компоненты) одновременно с вариациями метеорологических величин в приземной атмосфере в обс. Паратунка ДВО РАН ($\varphi = 52.97^\circ \text{ N}$; $\lambda = 158.25^\circ \text{ E}$). Напряженность электрического поля измерена прибором “Поле-2” с дискретностью по времени 1 мин, а метеорологические величины (температура $T^\circ \text{ C}$; давление P , гПа; относительная влажность Hm , %; осадки, мм и скорость

Таблица 1. Землетрясения вблизи п-ова Камчатка, зарегистрированные в ноябре 2004 г.

N	Дата	Время, UT	Географические координаты		h, км	M	R, км
			φ° N	λ° E			
1	04.11.2004 г.	14:03:11.74	43.665	146.812	62.4	5.8	312
2	07.11.2004 г.	02:02:26.34	47.884	144.486	481.8	6.1	420
3	11.11.2004 г.	10:02:47.12	42.164	144.331	32.2	6.1	420
4	14.11.2004 г.	17:37:42.42	41.777	144.114	15.0	5.1	156
5	14.11.2004 г.	17:57:40.66	41.781	144.064	30.3	5.0	140
6	14.11.2004 г.	18:44:13.62	41.786	144.079	21.0	5.4	210

Примечание: h – глубина эпицентра; M – магнитуда; $R = 10^{0.43M}$ – радиус сейсмически активной зоны накануне землетрясения.

ветра V , м/с) – цифровыми станциями WS-2000 и WS-2300 с дискретностью по времени 10 мин. Для оценки уровня солнечной активности использованы записи потоков рентгеновского излучения (X-лучей, Вт/м²) (<http://www.staff.oma.be/default.jsp>), сейсмической активности – (<http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/interactive/>), циклонической активности в акватории Тихого океана (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/search.date.html.en>). Зимние грозы непродолжительны по времени, поэтому они не всегда отмечаются в метеорологических данных, которые традиционно на местных станциях измеряются через каждые три часа в течение суток, либо как среднесуточные их значения (<https://yandex.ru/pogoga/paranunka/month>). В отличие от этих методов, в obs. Паратунка их записи ведутся практически непрерывно (через 10 мин). Поэтому детальная регистрация временных вариаций напряженности электрического поля и метеорологических величин позволяет наиболее надежно и достоверно оценивать состояние грозовой активности в приземной атмосфере. На временных записях напряженности электрического поля грозовые процессы проявляются как знакопеременные колебания большой величины, порядка кВ/м [Михайлова и др., 2010], в отличие от регулярных колебаний в условиях “хорошей погоды” (~100 В/м) и бухтообразных понижений напряженности перед землетрясениями [Smirnov, 2008]. Ниже рассмотрены особенности вариаций этих величин для событий anomalно сильных землетрясений с магнитудой $M > 8$ (ноябрь 2006 г. и январь 2007 г.) и мощных солнечных вспышек (октябрь 2003 г. и ноябрь 2004 г.).

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

События в ноябре 2004 г. Особенность этих событий состоит в том, что они развивались на фоне мощных солнечных вспышек, сопровождаемых двумя магнитными бурями [Смирнов и др., 2013]. Это привело к возбуждению anomalно сильных грозовых процессов в приземной атмо-

сфере на Камчатке. На рисунке 1а приведены суточные вариации E_z -компоненты электрического поля, а также метеорологических величин (температура T° C, атмосферное давление P , гПа, относительная влажность Hm , % и скорость ветра V , м/с) и X-лучей (Вт/м²) в период с 4 по 14 ноября 2004 г. Как видно, в период с 4 по 9 ноября наблюдалась высокая солнечная активность с anomalными потоками X-лучей (~10⁻⁴ Вт/м²), сопровождаемыми, как известно, усилением потоков излучения в видимом и инфракрасном диапазонах. Как видно на графиках температуры и относительной влажности, это привело к нарушению их регулярного суточного хода 3 и 4 ноября. В результате действия солнечных вспышек температура ночью возросла от минус 15^oC до нулевых и положительных величин, а относительная влажность – до 80 и более процентов. Это привело к формированию грозовой активности 7 и 10 ноября (характерные знакопеременные колебания E_z -компоненты электрического поля). В этот период циклоническая активность в Тихом океане была спокойной, тайфун MUIFA (рис. 1б) зародился только 14 ноября в очень отдаленном месте от Камчатки. Не исключено, что его мощность и продолжительность (более 10 дней) обусловлена усилением солнечной активности в предшествующие дни. Сейсмическая активность в этот период (см. табл. 1) также была относительно спокойной. Моменты ЗТ отмечены стрелками по оси абсцисс графика E_z -компоненты, на котором отсутствуют явления, вызванные землетрясениями.

Завершая анализ графиков рисунка и состояния циклонической и сейсмической активностей, можно с уверенностью сделать вывод о том, что грозовая активность в ноябре была вызвана усилением солнечной активности в этот период.

События в октябре 2003 г. Рассмотренные ниже эффекты в приземной атмосфере развивались в период anomalного усиления солнечной активности 21–31 октября (см. рис. 2а), когда потоки рентгеновского излучения при вспышках достигали anomalных величин ~10⁻³ Вт/м². При

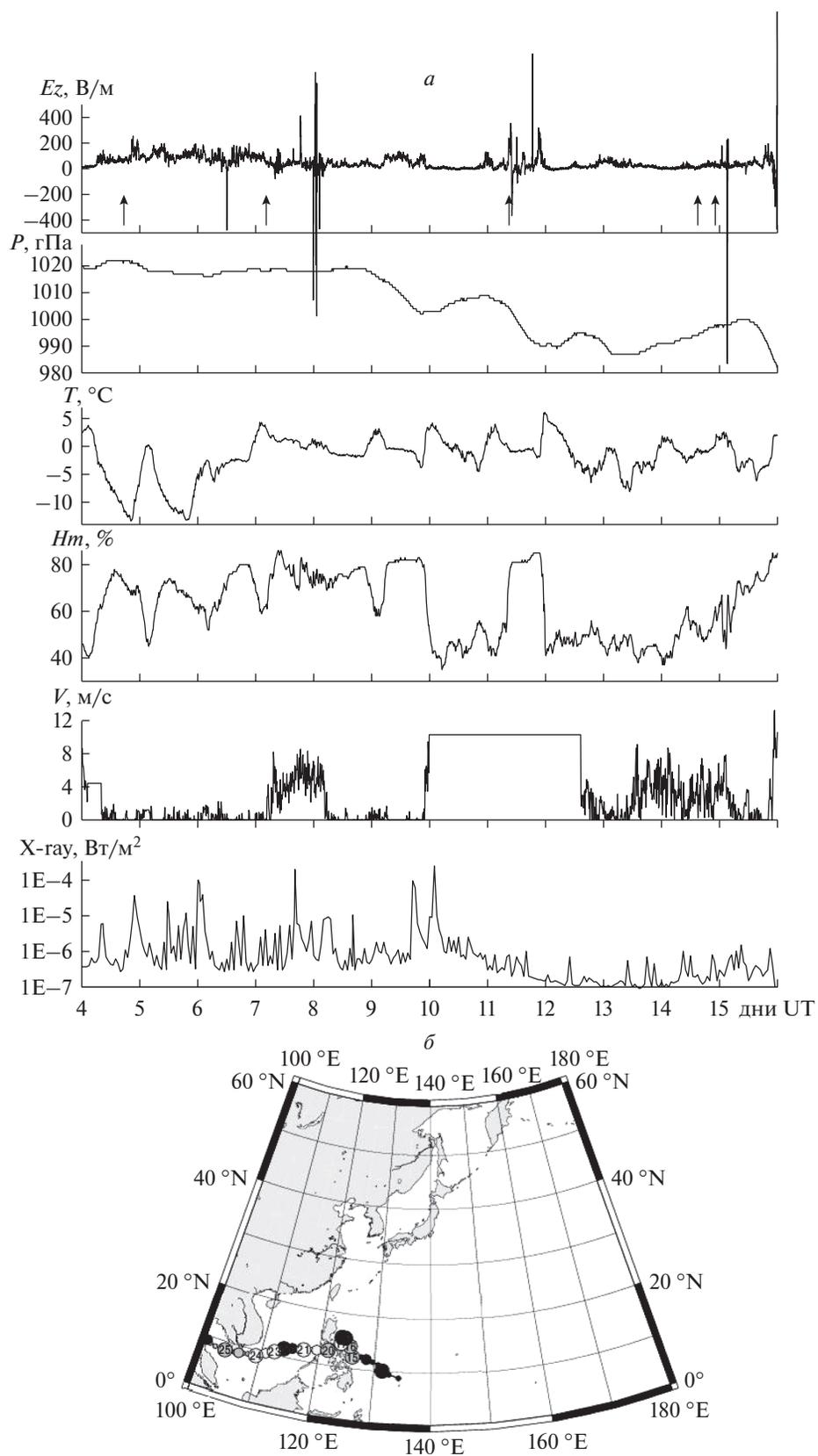


Рис. 1. Суточные вариации E_z -компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере Камчатки, метеорологических величин и потоков солнечной радиации X-гама (в диапазоне 0.1–0.8 нм) в ноябре 2004 г. (а); трек тайфуна MUIFA (б).

Таблица 2. Землетрясения вблизи п-ова Камчатка, зарегистрированные в октябре 2003 г.

N	Дата	Время, UT	Географические координаты		h, км	M	R, км
			φ°, N	λ°, E			
1	23.10.2003 г.	10:54:37.10	51.76	176.39	14	5.3	190
2	23.10.2003 г.	10:54:39.70	51.46	176.56	33	5.3	190
3	23.10.2003 г.	15:32:06.18	51.39	176.55	33	5.1	156

Таблица 3. Характеристики землетрясений вблизи п-ова Камчатка в ноябре 2006 г. и январе 2007 г.

N	Дата	Время, UT	Географические координаты		h, км	M	R, км
			φ°, N	λ°, E			
1	12.11.2006 г.	14.42:24	55.164	165.295	37.4	5.0	140
2	15.11.2006 г.	11.14:13.57	46.592	153.266	30.3	8.3	3706
3	08.01.2007 г.	16.23:38.00	54.297	159.170	136.5	4.6	95
4	11.01.2007 г.	04.27:26.32	60.955	165.478	10.0	5.0	140
5	13.01.2007 г.	04.23:21.16	46.243	154.524	10.0	8.1	3040
6	13.01.2007 г.	17.35:22.51	54.796	166.192	10.0	4.9	127
7	13.01.2007 г.	17.37:06.31	46.913	156.276	10.0	6.0	380

этом возрастали потоки излучения и в видимой части спектра [Веселовский и др., 2004]. Поступление дополнительной тепловой энергии привело к заметному нарушению регулярного суточного хода температуры 21 и 22 октября, увеличив отрицательные ночные значения (-3°C) до положительных значений ($+4-5^{\circ}\text{C}$). В течение периодов 23–27 и 29–31 октября сохранялась очень высокая влажность воздуха ($\sim 90\%$). Это привело к формированию интенсивной и продолжительной грозовой активности 24 и 30 октября (колебания напряженности E_z -компоненты, сильные ветры, обильные осадки). Именно в эти дни отмечена максимальная интенсивность тайфуна PARMA (рис. 2б), когда минимальное давление в “глазу” его составило 930 гПа, а максимальная скорость – 95 узлов/ч. Этот мощный тайфун зародился 21 октября на $\varphi \sim 20^{\circ}-35^{\circ}\text{N}$ и в течение 10 дней смещался вдоль широты от 140° до 180°E . Одновременно в тот же период 19–26 октября в акватории Тихого океана действовал менее мощный ($V = 90$ узлов/ч; $P = 940$ гПа) тайфун KETSANA (рис. 2в) [<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/search.date.html.en>]. Хронологическая последовательность их передвижения показана на графике давления рис. 2а. Одновременное развитие этих тайфунов, вызванных появлением аномальных солнечных вспышек, позволяет сделать вывод о том, что только сверхмощные тайфуны способны вызвать грозовые процессы в зимнее время в приземной атмосфере Камчатки. Сейсмическая активность в этот период была относительно спокойной ($M \sim 5$). Характеристики землетрясений приведены в табл. 2, а моменты времени отмечены стрелками на гра-

фике E_z -компоненты. Им предшествовали бухтообразные понижения напряженности электрического поля значительно меньшей интенсивности по сравнению с колебаниями в период грозовой активности.

События в ноябре 2006 г. и январе 2007 г. Эти события связаны с сильными Курильскими землетрясениями, магнитуда которых превышала величину $M \sim 8$ (см. табл. 3, а хронологическая последовательность их отмечена стрелками на графике E_z -компоненты на рис. 3а и 4) [Смирнов и др., 2017]. Как видно на графиках температуры $T^{\circ}\text{C}$, начиная с 8 ноября и 5 января, в приземной атмосфере изменились условия “хорошей погоды” с регулярным суточным ходом температуры и относительной влажности $Hm, \%$. При наличии высокой влажности ($\sim 90\%$) температура последовательно возрастала в течение нескольких дней, вплоть до момента сильного землетрясения. В отдельные дни повышение температуры сопровождалось усилением ветра ($V \sim 18-25$ м/с) и развитием мощной грозовой активности (8 и 13 ноября и 7–8 января). Более того, 13 ноября в вариациях электрического поля одновременно наблюдались эффекты грозовой активности, совпадающие с бухтообразным понижением напряженности поля, обусловленным сильным землетрясением 15 ноября. Солнечная активность в эти периоды сохранялась относительно спокойной, величины потоков X-лучей были порядка 10^{-6} Вт/м². Циклоническая активность тоже была очень низкой: тайфун СНЕВИ зародился на широте ниже 20°N и смещался в течение четырех суток (9–13 ноября) в интервале долгот $115-135^{\circ}\text{E}$ с максимальной

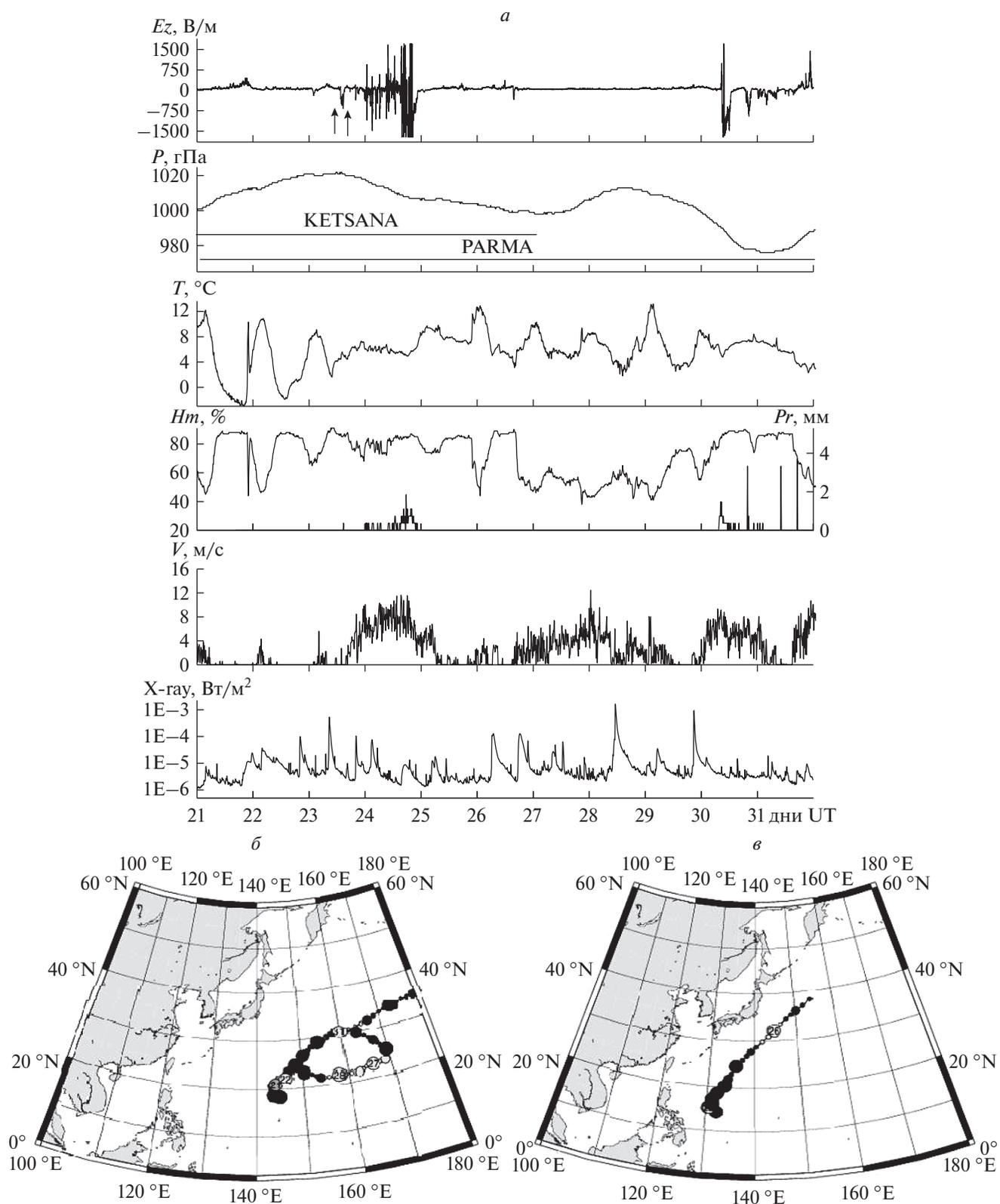


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, но в октябре 2003 г. (*a*); треки тайфунов PARMA (*б*) и KETSANA (*в*).

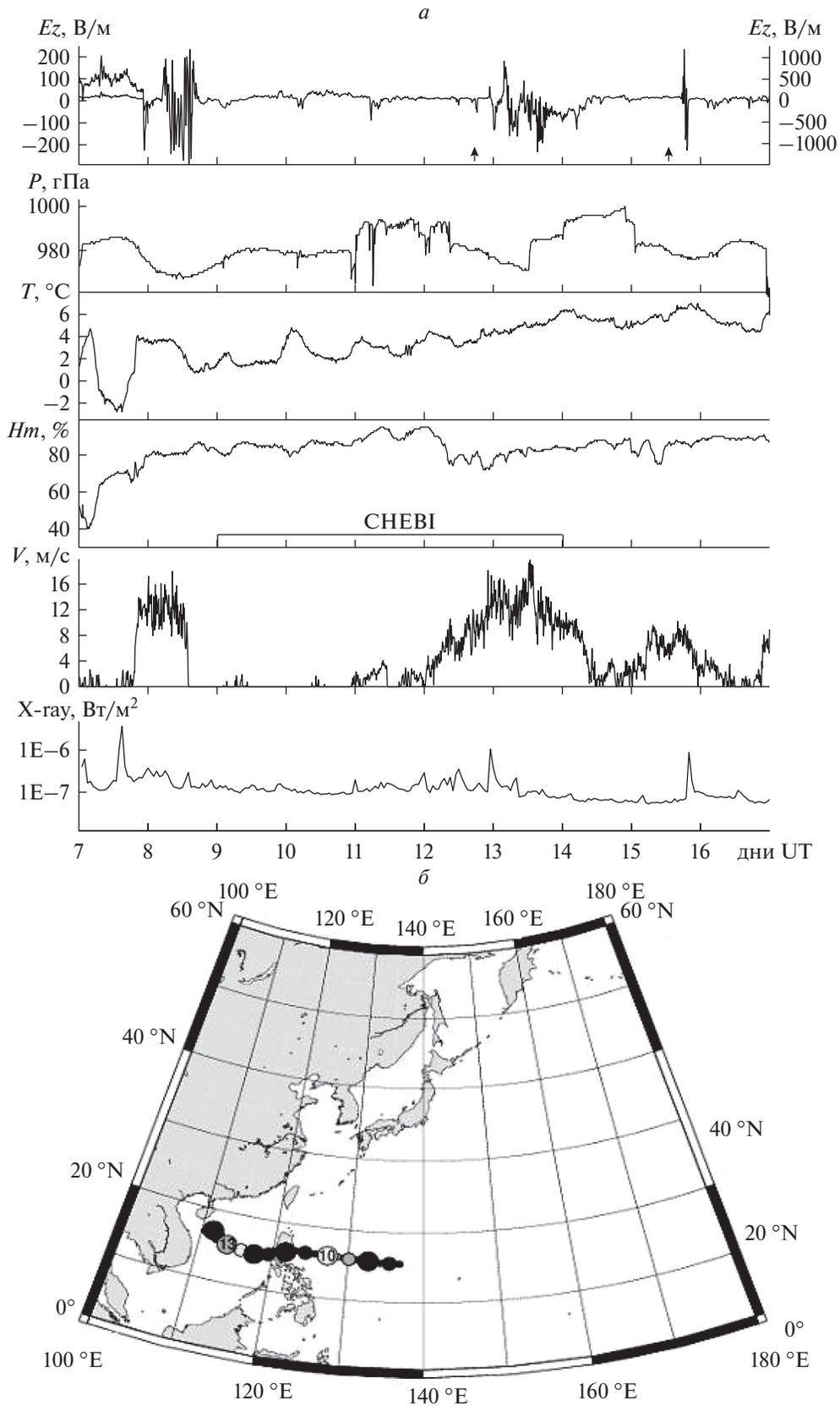


Рис. 3. То же, что и на рис. 1, но в ноябре 2006 г. (а); трек тайфуна SHEBI (б).

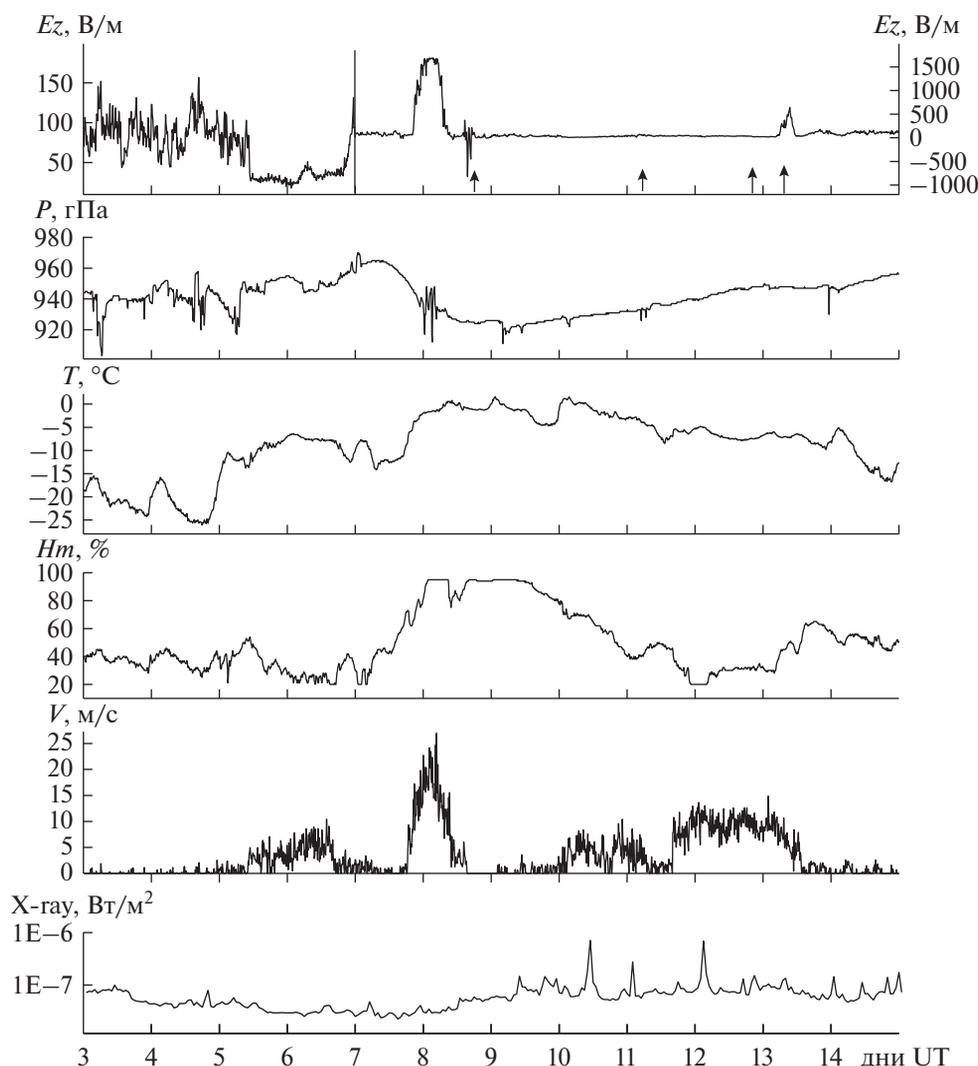


Рис. 4. То же, что и на рис. 1, но в январе 2007 г.

скоростью ветра ~ 100 узлов/ч (рис. 3б) (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/search.date.html.en>), т.е. был далеко от Камчатки. В январский период не были зарегистрированы ни тайфуны, ни штормы в рассматриваемой нами части Тихого океана. Таким образом, обнаруженный аномальный рост температуры, вопреки отрицательному регулярному тренду в это время года [Смирнов и др., 2017], вызван, на наш взгляд, появлением дополнительного источника тепла. Состояние солнечной, сейсмической и циклонической активностей позволяет сделать вывод, что этот источник сейсмической природы.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Как следует из архивов метеослужбы (www.pogodaiklimat.ru), зимние грозы на Камчатке случаются крайне редко. Для возникновения грозовой

активности в это время года недостаточно тепловой энергии, поступающей от Солнца. А для образования кучево-дождевых и кучево-грозовых облаков необходимы следующие условия. Это конвекция теплого воздуха, высокое влагосодержание воздуха и неустойчивость в тропосфере в результате большого градиента температуры по высоте [Матвеев, 2000]. На первой стадии этого процесса сначала образуются кучевые облака с сильными осадками и ветрами, которые далее развиваются в более мощные кучевые и кучево-грозовые с появлением молниевых разрядов. Эти стадии отчетливо просматриваются во временных вариациях метеорологических величин (рис. 1–4). Очевидно, что пусковым механизмом этого процесса является момент увеличения температуры воздуха с последующим движением его вверх, т.е. для развития грозовой активности необходим дополнительный источник теплового

излучения в приземной атмосфере. Синоптики полагают, что таким источником являются циклоны, которые приносят на полуостров потоки теплого и влажного воздуха в зимнее время года, вызывая температурную неустойчивость в тропосфере. При этом, как следует из архивов погоды, тропические циклоны происходят достаточно часто, особенно в осенние и зимние сезоны, когда поверхность океана прогревается до высоких температур и усиливается испарение влаги. Вместе с тем зимние грозы случаются крайне редко. Следовательно, тепловой энергии, приносимой циклонами, не всегда достаточно для зарождения грозовой активности и необходимо наличие дополнительного источника теплового излучения в приземной атмосфере, способного вызвать грозовую активность. Сравнительный анализ данных электрических и метеорологических величин, а также данных солнечной, сейсмической и циклонической активностей позволил выделить эти дополнительные источники. Оказалось, что при сильных солнечных вспышках, подобных случившимся в 2003 и 2004 гг., происходящих не часто, возникает поток тепла в видимом и инфракрасном диапазонах [Веселовский и др., 2004, Ермолаев и др., 2005], достаточный для создания условий образования грозовой активности. Кроме того, дополнительным источником тепла в инфракрасном диапазоне могут быть, как известно [Горный и др., 1988], сейсмические процессы в земной коре перед мощными землетрясениями с магнитудой $M > 8$, которые случаются также крайне редко. В нашем случае оба эти источника действовали либо при слабой, либо при мощной циклонической активности, роль которой, по видимому, свелась к возникновению температурной неустойчивости в тропосфере. Вопрос о возможности зимних гроз на Камчатке при сильных тропических циклонах, но при слабых солнечной и сейсмической активностях нуждается в дальнейшем детальном изучении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Веселовский И.С.* + 52 соавтора. Солнечные и гелиосферные явления в октябре-ноябре 2003 г.: причины и следствия // *Космич. исслед.* Т. 42. № 5. С. 453–508. 2004.
- *Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В.* Уходящее инфракрасное излучение Земли – индикатор сейсмической активности // *ДАН.* Т. 301. № 1. С. 67–69. 1988.
- *Ермолаев Ю.И.* + 48 соавторов. Год спустя: солнечные, гелиосферные и магнитосферные возмущения в ноябре 2004 г. // *Геомагнетизм и аэрномия.* Т. 45. № 6. С. 723–763. 2005.
- *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы. С.-Петербург: Гидрометеоздат, 778 с. 2000.
- *Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Смирнов С.Э.* Эффекты грозовой активности в спектрах мощности электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке // *Геомагнетизм и аэрномия.* Т. 50. № 6. С. 843–852. 2010.
- *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., 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.
- *Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В.* Эффекты сильных землетрясений в вариациях электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке // *Геомагнетизм и аэрномия.* Т. 57. № 5. С. 656–663. 2017.
- *Smirnov S.* Association of the negative anomalies of the quasistatic electric field in atmosphere with Kamchatka seismicity // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* V. 8. P. 745–749. 2008.