

УДК 551.52;551.59;551.594.21

ТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ЗИМНИЕ ГРОЗЫ НА КАМЧАТКЕ

© 2020 г. Ю. М. Михайлов¹, *, С. Э. Смирнов², **,
Г. А. Михайлова¹, О. В. Капустина¹

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В.Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк, Россия

²Институт космических исследований и распространения радиоволн
(ИКИР ДВО РАН), пос. Паратунка, Камчатский край, Россия

*e-mail: yumikh@izmiran.ru

**e-mail: sergey@ikir.ru

Поступила в редакцию 20.11.2019 г.

После доработки 17.12.2019 г.

Принята к публикации 23.01.2020 г.

Исследовано влияние тропических циклонов на грозовую активность на Камчатке для случаев зимних гроз в период 2008–2018 гг. В качестве индикатора грозовой активности использованы временные вариации квазистатического электрического поля и метеорологических величин в обл. 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 активности. Показано, что для формирования грозовой активности источником дополнительного тепла в приземной атмосфере полуострова, кроме солнечных вспышек, сопровождаемых усилением излучения в видимом, инфракрасном спектрах, возможно инфракрасное излучение роя близко расположенных эпицентров землетрясений средней интенсивности, а также удаленные тропические циклоны в Тихом океане как источник мощных потоков теплого и влажного воздуха.

DOI: 10.31857/S0016794020040112

1. ВВЕДЕНИЕ

В одной из научных задач космического проекта “Вулкан-Компас-2” планировались исследования электромагнитных (ЭМ) излучений на борту спутника при пролете его над сейсмоактивным регионом с целью изучения литосферно-ионосферного взаимодействия в диапазоне частот 1 Гц–20 кГц [Кузнецов и др., 2011]. Источником этого излучения являются преимущественно молниевые разряды. Для его регистрации в наземно-космическом эксперименте была выбрана обл. Паратунка ($\varphi = 52.97^\circ \text{ N}$; $\lambda = 158.25^\circ \text{ E}$) ИКИР ДВО РАН, оснащенная специализированным аппаратно-программным комплексом для сбора и обработки различной геофизической информации [Бузевич и др., 1998] и пеленгатором, определяющим направление на источник этого излучения. Интенсивность грозовых источников качественно оценивалась по потоку атмосферных разрядов (количество сигналов в час) [Дружин и др., 2001]. Для тонкого спектрального анализа атмосферных разрядов эпизодически использовалось также широкополосное приемное устройство, идентичное бортовому [Михайлов и др., 2006а].

Многолетние узкополосные записи уровня ЭМ-излучения в полосе частот 0.6–10 кГц (так называемых атмосферных радиощумов) показали, что источники этих излучений в зимний период расположены в ЮЗ, Ю, и ЮВ-направлениях относительно п-ова Камчатка [Михайлов и др., 2005; Дружин и др., 2008]. В летний период к ним добавляются источники с СЗ-направления. При этом перемещение источников атмосферных разрядов происходит синхронно с направлением движения циклона. Наиболее интенсивный поток сигналов порождается тропическими циклонами в Тихом океане. Их влиянию на грозовую активность посвящено несколько исследований. В частности, детально изучена динамика грозовой активности в период зарождения циклонов и в процессе развития до максимальной интенсивности [Михайлов и др., 2006б; Дружин и др., 2008]. Более того, в спектрах суточных колебаний атмосферных радиощумов выделены максимумы на периодах $T = 2-3$ ч, интенсивность которых заметно изменяется в процессе развития тропического циклона [Михайлов и др., 2005].

Кроме удаленных источников ОНЧ-излучения, регистрируемого на Камчатке, следовало бы

ожидать и локальные грозовые источники. Но, как показывает местная метеорологическая служба, грозы на Камчатке — довольно редкое явление, даже в летнее время. В некоторых случаях, крайне редко, случаются зимние грозы с частотой один раз в 2–5 лет. Природа этого уникального явления до сих пор остается неясной. Метеорологи полагают, что источником их являются мощные тропические циклоны в Тихом океане (тайфуны), приносящие на юг полуострова огромные массы теплого и влажного воздуха, как необходимый компонент для формирования грозовой активности в приземной атмосфере. Вместе с тем, в работе [Смирнов и др., 2019] показано, что источником дополнительного притока тепла для формирования грозовых процессов могут быть мощные вспышки на Солнце, сопровождаемые усилением излучения в видимом и инфракрасном спектрах, а также инфракрасное излучение Земли, поступающее в атмосферу перед мощными землетрясениями (ЗТ) с магнитудой $M > 8$.

Настоящая работа является продолжением исследования природы зимних гроз на Камчатке и рассматривается возможность формирования грозовых процессов мощными тропическими циклонами при спокойных солнечной и сейсмической активностях.

2. ИСХОДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В работе исследованы зимние грозы, наблюдаемые на Камчатке в период с 2008 по 2018 гг.: 26–31 декабря 2008 г.; 18–19 ноября 2012 г.; 2 декабря 2012 г.; 12 декабря 2014 г.; 21 декабря 2014 г.; 11 марта 2015 г.; 19 ноября 2017 г.; 26–28 декабря 2017 г.; 3 января 2018 г.; 20–28 января 2018 г.; 18–22 ноября 2018 г. В качестве индикатора грозовой активности рассмотрены суточные вариации напряженности квазистатического электрического поля (E_z -компоненты), наблюдаемые одновременно с вариациями метеорологических величин в приземной атмосфере в obs. 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 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 $X\text{-ray}$, ($\text{Вт}/\text{м}^2$) (<http://www.staff.oma.be/default.jsp>), сейсмической активности — (<https://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes>), 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/pogoda/paranunka/month>). В отличие от этих методов, в obs. Паратунка их записи ведутся через 10 мин, т.е. практически непрерывно. 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, вызванные зарядами обильных осадков [Бенндорф, 1934; Юман, 1972], в отличие от регулярных колебаний в условиях “хорошей погоды” ($\sim 100 \text{ В}/\text{м}$) и бухтообразных понижений напряженности перед землетрясениями [Смирнов, 2008].

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Событие 26–31 декабря 2008 г. Как видно на рис. 1, при низком уровне солнечной активности ($\sim 10^{-8} \text{ Вт}/\text{м}^2$), начиная с 26 декабря на фоне бухтообразного понижения напряженности E_z -компоненты поля отмечается всплеск колебаний до 300 В/м грозовой природы. Этот момент совпадает по времени с резким изменением метеорологических величин: повышением температуры и относительной влажности воздуха соответственно от -10 до 0° C и от 60 до 80% и усилением ветра от единиц до 25 м/с. В Тихом океане за десять дней до рассматриваемого события (с 12 по 18 декабря) действовал тропический циклон DOLPHIN ($V_{\text{max}} = 33 \text{ м}/\text{с}$) (табл. 1) и его влияние на метеоусловия мало вероятно. Вместе с тем, как следует из табл. 2, в период с 28 по 31 декабря вблизи южного побережья Камчатки произошла серия землетрясений с магнитудой $M \sim 5.0\text{--}5.5$ (на рисунке отмечены стрелками). Их действие проявилось в бухтообразном понижении напряженности электрического поля. Не исключено, что дополнительный приток тепла, необходимый для зарождения грозовой активности, поступил в приземную атмосферу от источника сейсмической природы [Смирнов и др., 2019].

Событие 18–19 ноября 2012 г. 15 ноября при низкой относительной влажности воздуха ($\sim 70\%$) температура возросла от низких отрицательных значений до нулевых и положительных значений (см. рис. 2). А с 18 ноября относительная влажность увеличилась до максимальных значений ($\sim 90\%$). Таким образом, в приземной атмосфере возникли условия для развития грозовой активности. Это состояние сохранилось вплоть до 23 ноября и четко проявилось в вариациях E_z -компоненты, а также в усилении ветра. 19 декабря так

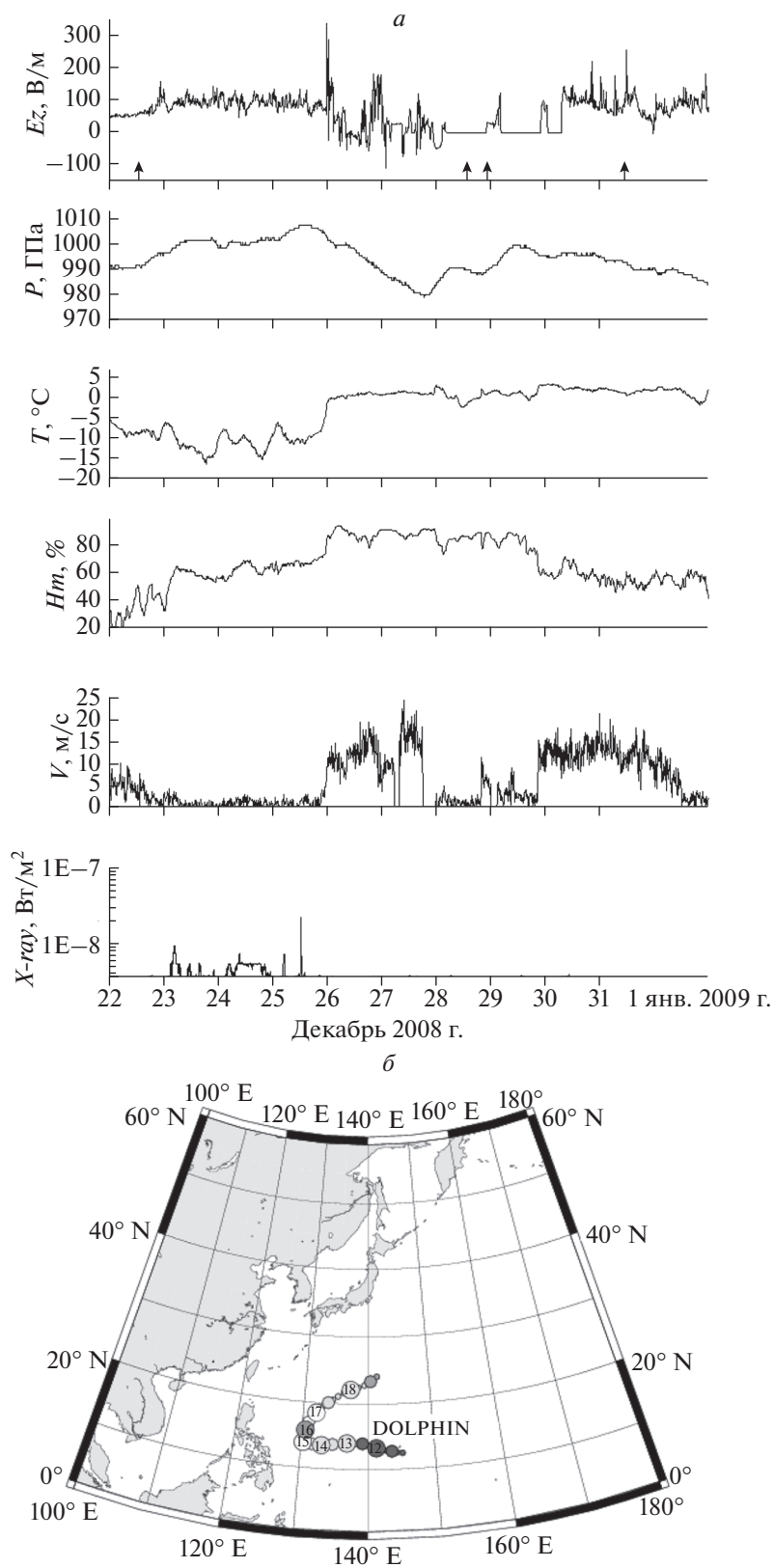


Рис. 1. Суточные вариации E_z -компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере Камчатки, метеорологических величин и потоков солнечной радиации $X\text{-ray}$ для событий 26–31 декабря 2008 г. (а) и трек тайфуна DOLPHIN с 12 по 18 декабря (б). Стрелками на графике E_z -компоненты обозначены моменты землетрясений, в кружках на треке – даты.

Таблица 1. Тропические циклоны в северо-западной части Тихого океана

Дата	Имя	$(\varphi_1-\varphi_2),^\circ$ N	$(\lambda_1-\lambda_2),^\circ$ E	$V_{\max},$ м/с	$P_{\min},$ гПа	$X\text{-ray},$ Вт/м ²
12–18.12.2008	DOLPHIN	10–25	140–130	33	970	2×10^{-8}
26.11–09.12.2012	BORNA	4–18	157–125	51	930	$10^{-7}-10^{-6}$
01–11.12.2014	HAGUPIT	3–10	156–110	59	905	4×10^{-6}
11–17.03.2015	BAVI	4–14	174–122	23	990	4×10^{-5}
18–19.11.2017	KIROGI	7–11	124–110	18	1000	$5 \times 10^{-8}-7 \times 10^{-7}$
03–04.01.2018	BOLAVEN	9–12	139–110	18	1002	10^{-8}
22–26.11.2018	USAGI	5–10	135–105	33	975	10^{-7}
20–26.11.2018	MAN-YI	5–20	155–130	41	955	10^{-7}
14–21.12.2018	KAI-TAK	11–7	128–105	21	994	
20–25.12.2018	TEMBIN	18–19	134–104	36	970	$5 \times 10^{-8}-7 \times 10^{-7}$

же, как и в предыдущем случае, грозовой процесс совпал с сейсмическим процессом. Солнечная активность в этот период была относительно спокойной ($\sim 10^{-5}$ Вт/м²). Спокойной была и циклоническая активность в тропических широтах: циклоны не наблюдались. Но, как следует из табл. 2, вблизи полуострова в этот период произошла серия ЗТ с магнитудой $M \sim 5.0-6.5$. По-видимому, эти сейсмические события и обеспечили дополнительный приток тепла, необходимый для зарождения грозовой активности.

Событие 2 декабря 2012 г. Как следует из графика $T^\circ C(t)$ (см. рис. 3), в период с 27 ноября по 7 декабря на Камчатке наблюдалась аномально теплая для этого периода погода. Кроме отдельных дней, 29 и 30 ноября, температура воздуха превышала нулевую отметку. А в отдельные периоды при высокой температуре и относительной влажности воздуха ($\sim 90-95\%$) в приземной атмосфере формировались условия грозовой активности. На графике $Ez(t)$ они выделены сильными всплесками: 29 ноября, 2 и 7 декабря. Отрицательный всплеск 27 ноября – это предвестник ЗТ. В период с 26 ноября по 9 декабря в Тихом океане действовал мощный тропический циклон BORNA с максимальной скоростью $V_{\max} \sim 51$ м/с, который подпитывался повышенной солнечной радиацией ($\sim 10^{-6}-10^{-5}$ Вт/м²). И хотя он развивался далеко от полуострова ($\varphi = (5-20)^\circ$ N; $\lambda = (160-120)^\circ$ E), его, по-видимому, следует рассматривать как источник дополнительного притока тепла в приземной атмосфере для обеспечения аномально высокой температуры и связанной с этим грозовой активностью. При этом не исключено влияние на температурный режим и сейсмических источников, т.е. ЗТ, которые имели место вблизи полуострова.

Событие 12 декабря 2014 г. Как видно на рис. 4, мощный циклон HAGUPIT с максимальной ско-

ростью $V_{\max} = 59$ м/с действовал продолжительное время (~ 10 сут), поддерживая температуру воздуха с регулярными суточными колебаниями ниже нулевого уровня. В это время сохранялась высокая относительная влажность воздуха, т.е. имели место обильные осадки. Накопившаяся тепловая энергия на стадии затухания циклона, по-видимому, вызвала рост температуры 12 декабря выше нулевого уровня и при высокой влажности привела к возникновению грозового процесса, сопровождаемого ураганым ветром ($V \sim 15$ м/с). Солнечная активность была при этом относительно спокойной ($\sim 10^{-6}$ Вт/м²). Эпицентр землетрясения средней интенсивности ($M \sim 5.5$) находился вблизи Курильских о-вов (см. табл. 2).

Событие 21 декабря 2014 г. В период с 17 по 20 декабря вариации напряженности электрического поля были в пределах условий “хорошей погоды” (см. рис. 5), без предвестника ЗТ 19 декабря. Суточные вариации температуры и относительной влажности воздуха, характерные для этих условий, были в противофазе. Но 21 декабря возросла температура одновременно с влажностью воздуха, и в приземной атмосфере возникли метеорологические условия для грозовой активности, сопровождаемые усилением ветра. В этот период с 17 по 27 декабря в Тихом океане циклоны не наблюдались, землетрясение с $M \sim 5.0$ вблизи полуострова произошло только 19–20 декабря (табл. 2). Но 26 декабря на фоне относительно слабой солнечной активности произошли солнечные вспышки с потоком X -лучей $\sim 10^{-4}$ Вт/м². По-видимому, они и стали причиной возрастания температуры воздуха.

Событие 11 марта 2015 г. В период с 6 по 10 марта (см. рис. 6) в отсутствие циклона и умеренных солнечной ($< 10^{-5}$ Вт/м²) и сейсмической ($M \sim 5.0$) активностей наблюдались регулярные суточные вариации температуры и относитель-

Таблица 2. Землетрясения вблизи п-ова Камчатка, зарегистрированные в период 2008–2018 гг.

N	Дата	Время, УТ	Географические координаты		h, км	M	R, км
			φ° N	λ° E			
К рис. 1							
1	22.12.2008	13:25:41.0	46.59	152.57	40	5.1	156
2	28.12.2008	13:31:39.5	48.38	154.30	60	5.5	231
3	28.12.2008	21:40:17.2	48.37	154.29	46	5.2	172
4	28.12.2008	22:39:45.7	48.35	154.30	44	5.2	172
5	31.12.2008	08:47:59.1	46.53	154.40	20	5.0	140
К рис. 2							
1	16.11.2012	18:12:36	49.36	155.39	5	6.5	623
2	22.11.2012	05:21:46	53.93	168.34	10	5.2	172
К рис. 3							
1	27.11.2012	14:42:14	48.15	155.05	30	5.2	172
2	30.11.2012	06:48:20	48.21	154.95	40	5.0	140
3	02.12.2012	23:45:14	45.81	151.49	40	5.0	140
К рис. 4							
1	08.12.2014	09:52:04	50.34	158.08	40	5.5	231
К рис. 5							
1	19.12.2014	04:47:39	42.69	145.63	20	5.3	190
2	26.12.2014	11:17:09	44.56	149.15	31	5.0	141
К рис. 6							
1	09.03.2015	19:39:40	47.29	153.93	25	5.0	141
К рис. 7							
1	13.11.2017	09:20:34	44.97	149.23	90	4.8	115
2	13.11.2017	09:46:11	54.99	168.17	10	4.5	86
3	20.11.2017	23:19:51	47.31	153.70	40	4.8	115
4	23.11.2017	09:05:29	48.83	152.78	30	4.7	104
5	25.11.2017	15:51:33	49.68	156.33	60	4.4	77
К рис. 8							
1	22.12.2017	14:44:19	53.90	160.42	60	5.5	231
2	22.12.2017	15:36:36	53.72	160.51	80	4.1	57
3	22.12.2017	22:28:24	53.89	160.47	55	4.9	127
4	25.12.2017	12:00:58	48.33	154.87	40	4.6	95
5	27.12.2017	04:11:26	46.39	153.16	30	4.9	127
К рис. 9							
1	04.01.2018	02:44:58	53.29	159.75	69	5.3	190
2	06.01.2018	19:52:33	46.58	154.16	30	4.6	95
3	07.01.2018	02:24:06	55.17	165.64	30	5.2	172

Таблица 2. Окончание

N	Дата	Время, UT	Географические координаты		h, км	M	R, км
			φ° N	λ° E			
К рис. 10							
1	17.01.2018	18:58:07	53.37	160.67	45	4.5	86
2	18.01.2018	00:32:26	44.91	150.04	40	4.3	70
3	18.01.2018	12:08:53	52.56	152.98	459	5.7	282
4	20.01.2018	21:42:40	51.93	156.79	157	4.3	70
5	25.01.2018	02:10:34	55.48	166.43	10	6.2	463
6	25.01.2018	02:19:14	55.37	166.37	10	4.3	70
7	25.01.2018	02:27:55	55.75	166.11	10	4.7	104
8	25.01.2018	02:56:37	55.56	166.29	10	4.2	63
9	25.01.2018	03:02:21	55.56	166.20	10	4.7	104
10	25.01.2018	03:24:40	53.31	153.78	485	4.4	77
11	25.01.2018	07:50:57	55.63	166.24	10	4.4	77
12	26.01.2018	22:44:21	54.45	168.81	40	4.5	86
13	27.01.2018	02:34:57	55.53	166.29	40	4.9	127
14	27.01.2018	22:49:58	55.58	166.32	30	4.5	86
15	27.01.2018	23:51:20	55.43	166.56	10	4.9	127

К рис. 11

1	14.11.2018	21:21:51	55.66	162.08	48	6.1	419
2	14.11.2018	21:29:37	55.76	161.95	60	5.0	141
3	17.11.2018	14:39:52	54.49	168.55	10	5.4	209
4	20.11.2018	20:16:03	44.66	147.89	99	5.1	155

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

ной влажности воздуха. В день вступления циклона BAVI ($V_{\max} = 23$ м/с) регулярный ход этих величин был нарушен: температура превысила нулевой уровень, а влажность увеличилась до значений ~90%. Это привело к формированию грозовой активности с усилением ветра до 15 м/с. В последующие дни в процессе развития циклона восстановился регулярный суточный ход температуры, но при более высоких значениях (днем ~+5°C) с последующим уменьшением относительной влажности. В рассматриваемый период произошло землетрясение с магнитудой $M \sim 5.0$ (табл. 2) при умеренной солнечной активности ($\sim 10^{-5}$ Вт/м²).

Событие 19 ноября 2017 г. На протяжении десяти дней (см. рис. 7) наблюдались хаотические колебания температуры вблизи нулевого уровня и столь же хаотические колебания относительной влажности воздуха в очень широких пределах

(60–90%) с порывистыми ветрами до 10 м/с, т.е. очень неустойчивые метеорологические условия. Лишь 19 ноября при увеличении температуры выше нулевого уровня при максимальной относительной влажности (~90%) наблюдался всплеск грозовой активности. При этом в течение наблюдаемого периода была очень низкая солнечная активность ($\sim 10^{-7}$ Вт/м²), слабый циклон KIROGI ($V_{\max} = 18$ м/с) был кратковременным (всего один день 18 ноября) и сильно удален от полуострова ($\phi = 10^\circ$ N и $\lambda = (115-125)^\circ$ E). В период 20–23 ноября произошло два очень слабых землетрясения ($M \sim 4.5-4.7$) на близких расстояниях ($R \sim 110$ км). Факт совпадения периода грозовой активности с действием циклона позволяет с осторожностью принять циклон как источник дополнительного притока тепла в приземной атмосфере.

События 26–28 декабря 2017 г. В период с 18 по 28 декабря действовали два циклона KAI-TAK

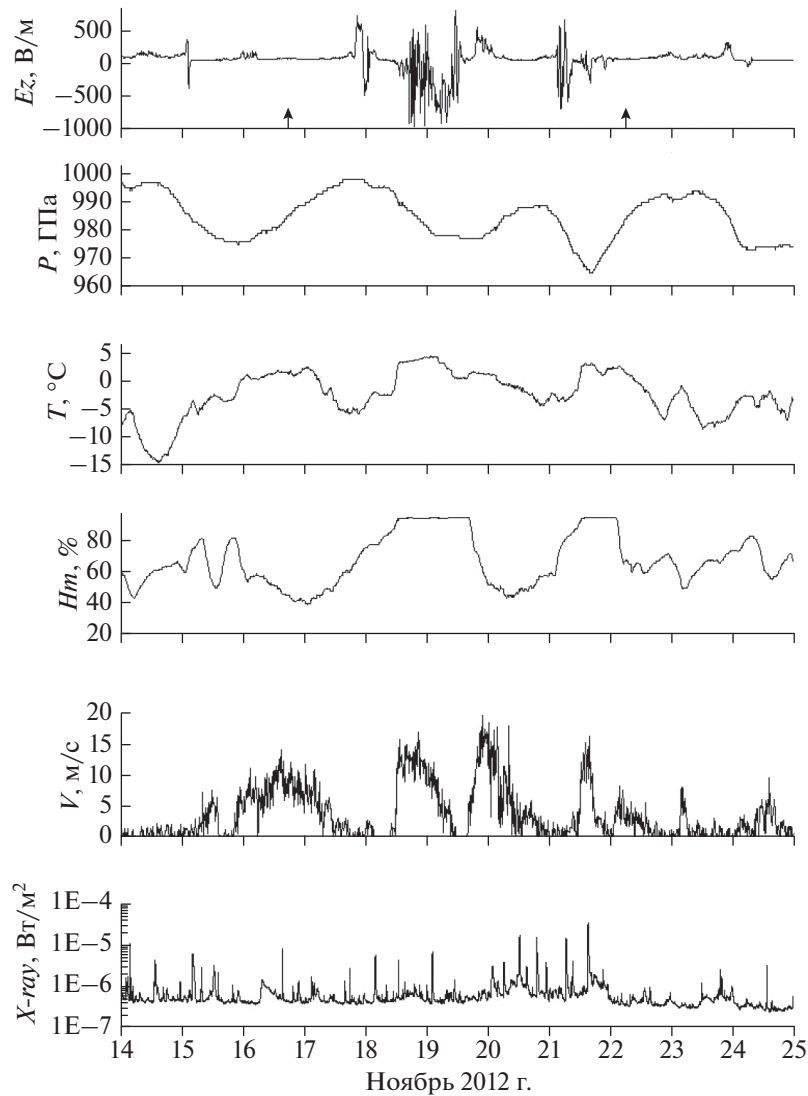


Рис. 2. То же, что и на рис. 1а, но для события 18–19 ноября 2012 г.

(14–21 декабря, $V_{\max} = 21$ м/с) и ТЕМВИН (12–25 декабря, $V_{\max} = 36$ м/с) в удаленной области ($\varphi \sim 10^\circ$ N и $\lambda = 100^\circ$ – 140° E) (см. рис. 8). При высокой относительной влажности ($\sim 80\%$) суточная температура воздуха изменялась регулярно в пределах от -8 до -20° С. Но, начиная с 25 декабря, температура резко возросла практически до нулевых значений, а влажность увеличилась до 90%. Эти условия сохранились вплоть до 28 декабря, в течение которых наблюдались мощные грозовые процессы 25 и 28 декабря, сопровождаемые обильными осадками и усилением ветра до 15 м/с. При слабой солнечной ($\sim 10^{-8}$ Вт/м²) и слабой сейсмической ($M \sim 4.6$ – 4.9 ; $R \sim 100$ км) активностях можно предположить, что источником дополнительного притока тепла явился сильный циклон ТЕМВИН.

Событие 3 января 2018 г. Рисунок 9. Согласно данным (<https://yandex.ru/pogoda/paratunka/month>), в рассматриваемый период наблюдалась ясная погода с низкими значениями температуры при относительно высокой относительной влажности воздуха. Исключение составили сутки 3 января, когда выпал обильный снег без явных признаков грозовой активности. В этот день действовал довольно слабый ($V_{\max} = 18$ м/с) и удаленный циклон BOLAVEN ($\varphi \sim 10^\circ$ N и $\lambda = (110$ – $140)^\circ$ E). Кроме того, этот день предшествовал близкому к восточному побережью Камчатки землетрясению с магнитудой $M \sim 5.3$. На фоне слабой солнечной активности ($\sim 10^{-8}$ Вт/м²) тепловой энергии циклона оказалось недостаточно для возбуждения грозовых процессов в приземной атмосфере Камчатки.

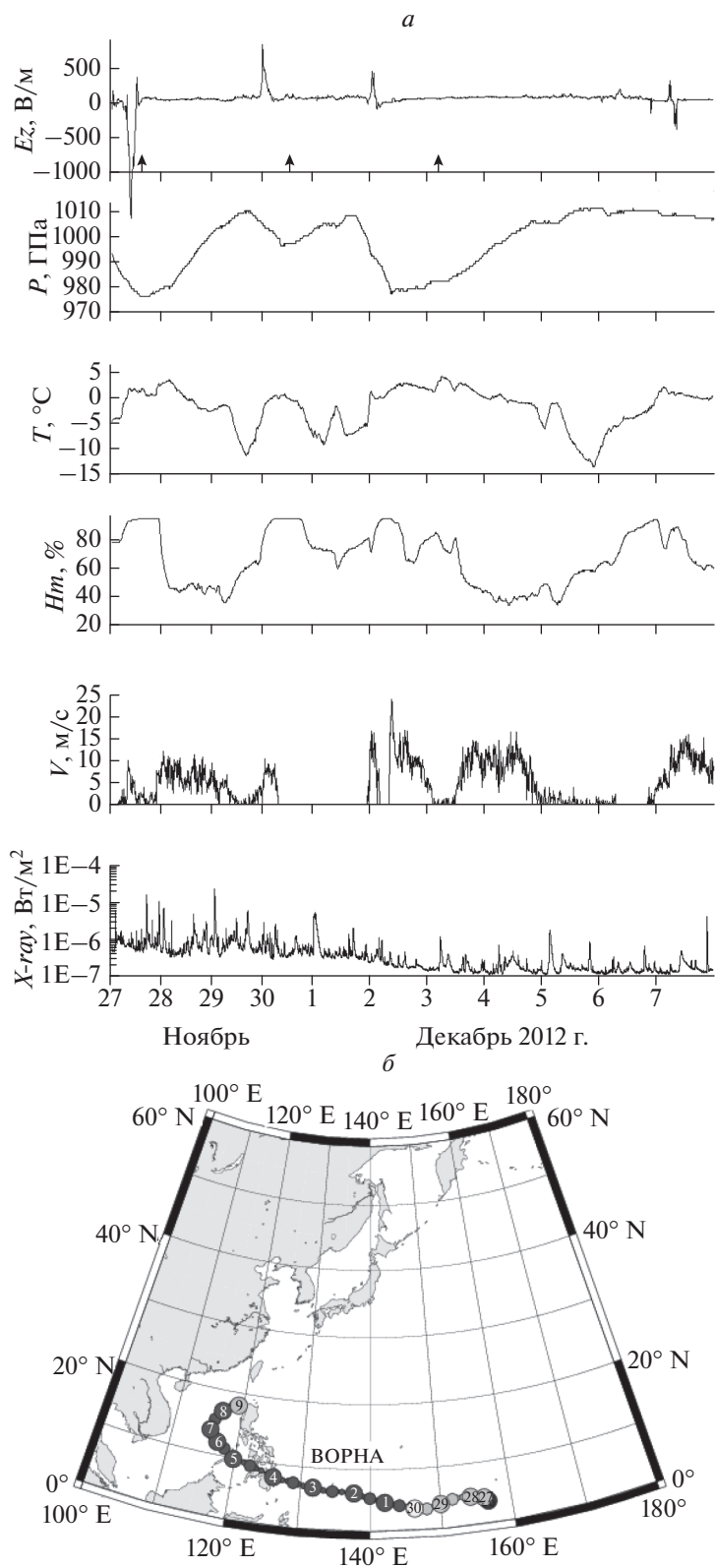


Рис. 3. То же, что и на рис. 1а, но для события 2 декабря 2012 г. (а) и трек тайфуна ВОРНА с 27 ноября по 8 декабря (б).

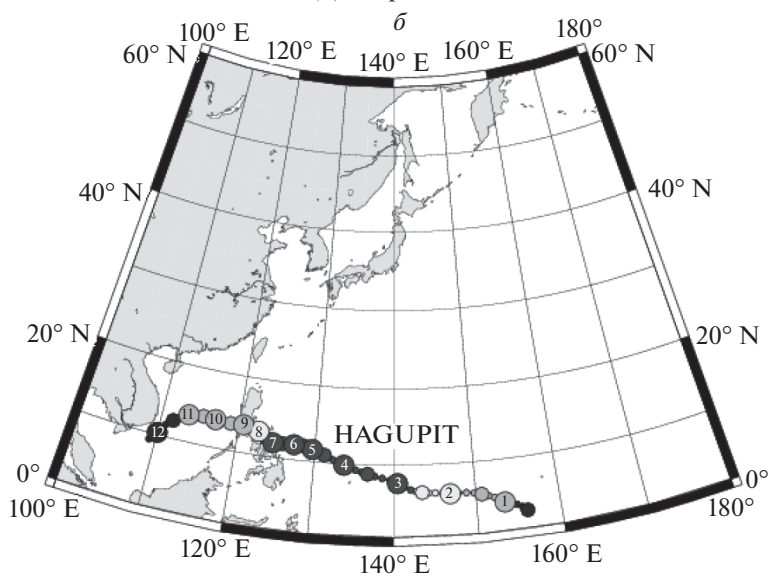
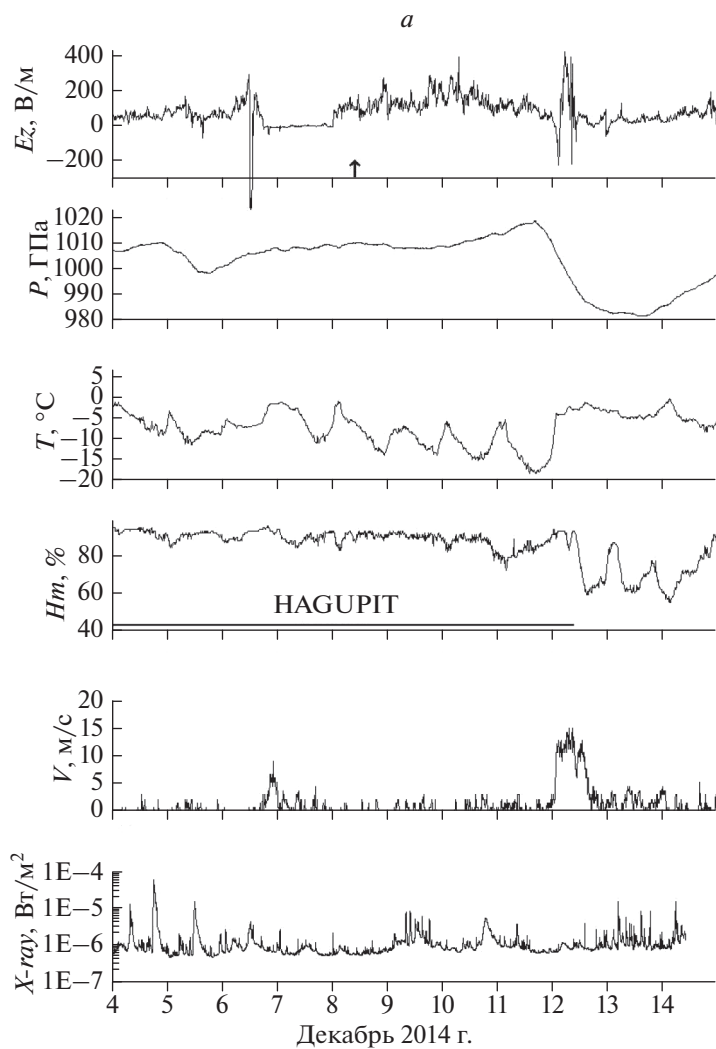


Рис. 4. То же, что и на рис.1а, но для события 12 декабря 2014 г. (а) и трек тайфуна HAGUPIT с 4 по 11 декабря (б).

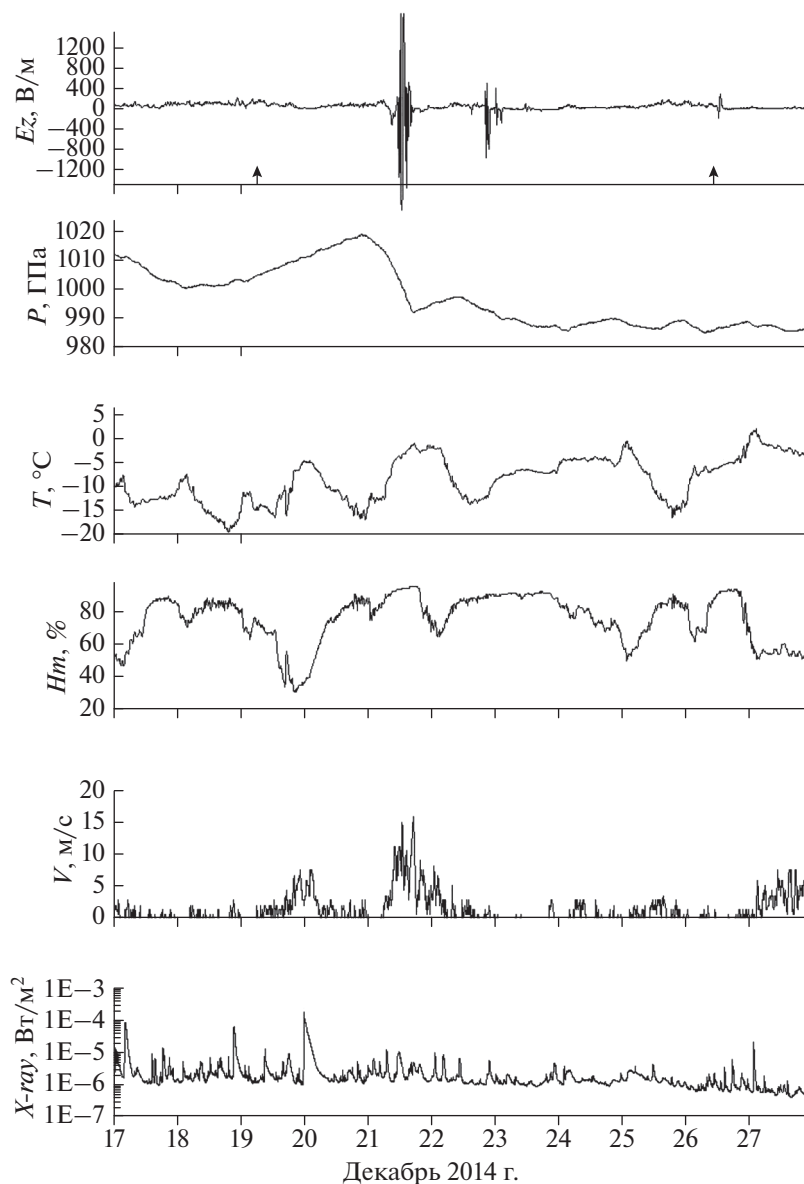


Рис. 5. То же, что и на рис. 1а, но для события 21 декабря 2014 г.

События 20–28 января 2018 г. Эти события интересны тем, что в течение продолжительного времени в приземной атмосфере сохранялись условия грозовой активности (см. рис. 10). При слабой солнечной активности ($\sim 10^{-7}$ – 10^{-6} Вт/м²) и отсутствии циклонов в Тихом океане температура и относительная влажность воздуха изменялись в очень широких пределах: от ~ -20 до 0°C и (50–90)%, соответственно. В этот период вблизи полуострова произошло 15 землетрясений средней интенсивности с магнитудой M от 4.0 до 6.1, которые по совокупности и могли стать источником дополнительного притока тепла в приземную атмосферу.

Событие 18–22 ноября 2018 г. В период с 14 по 24 ноября (см. рис. 11) существенно был нарушен суточный ход и температуры и относительной влажности воздуха. А в вариациях E_z -компоненты электрического поля выделены грозовые явления 18, 21 и 22 ноября. В эти периоды при высокой относительной влажности температура ночью возросла от отрицательных до положительных значений, сравнимых с дневными значениями. При низкой солнечной активности ($\sim 10^{-8}$ Вт/м²) этот факт указывает, что дополнительный приток тепла поступал от земной поверхности. 14 и 17 ноября вблизи восточного побережья Камчатки произошли три ЗТ с магнитудой $M \sim 5.0$ – 6.1 . Можно предположить, что они являются источ-

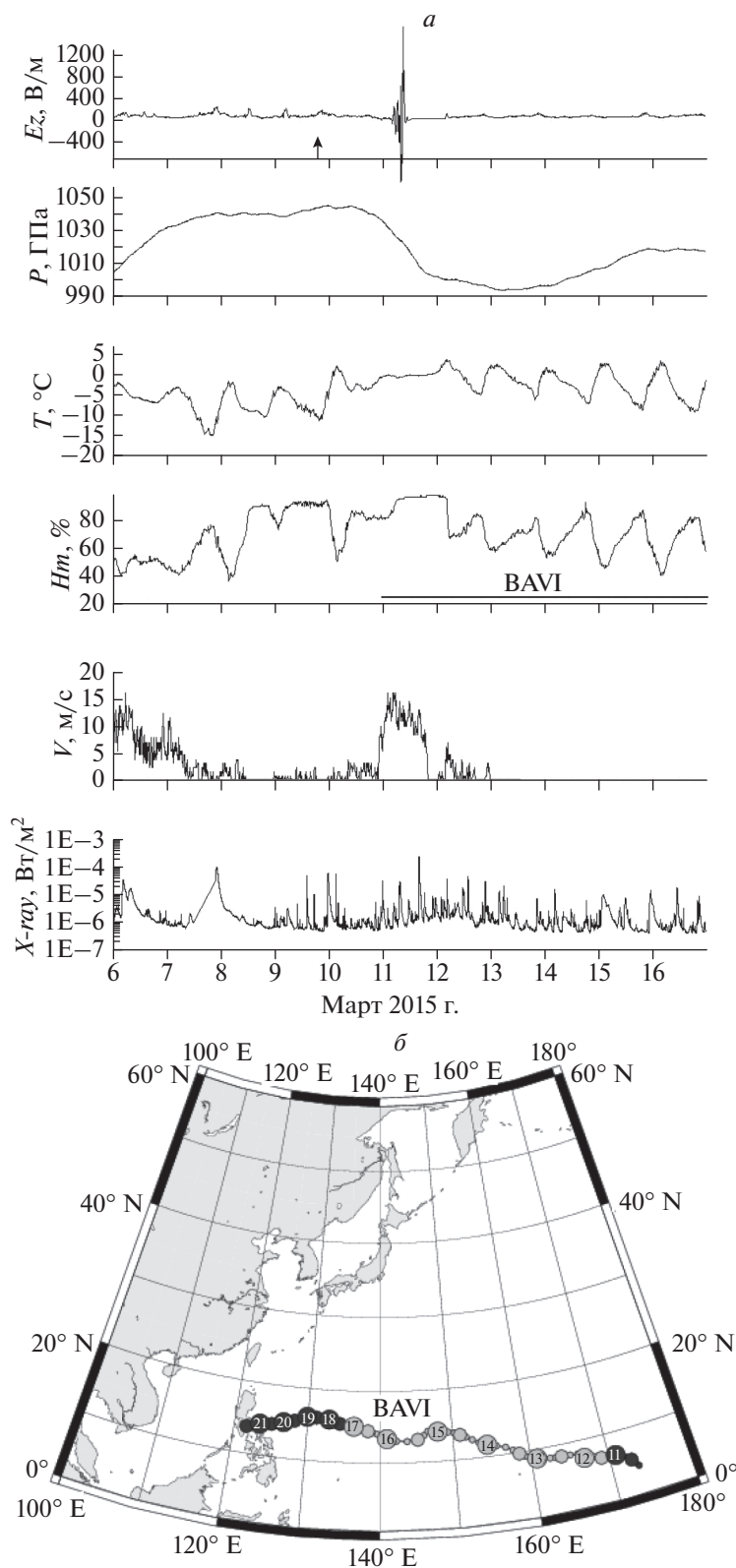


Рис. 6. То же, что и на рис. 1а, но для события 11 марта 2015 г. (а) и трек тайфуна BAVI с 11 по 17 марта (б).

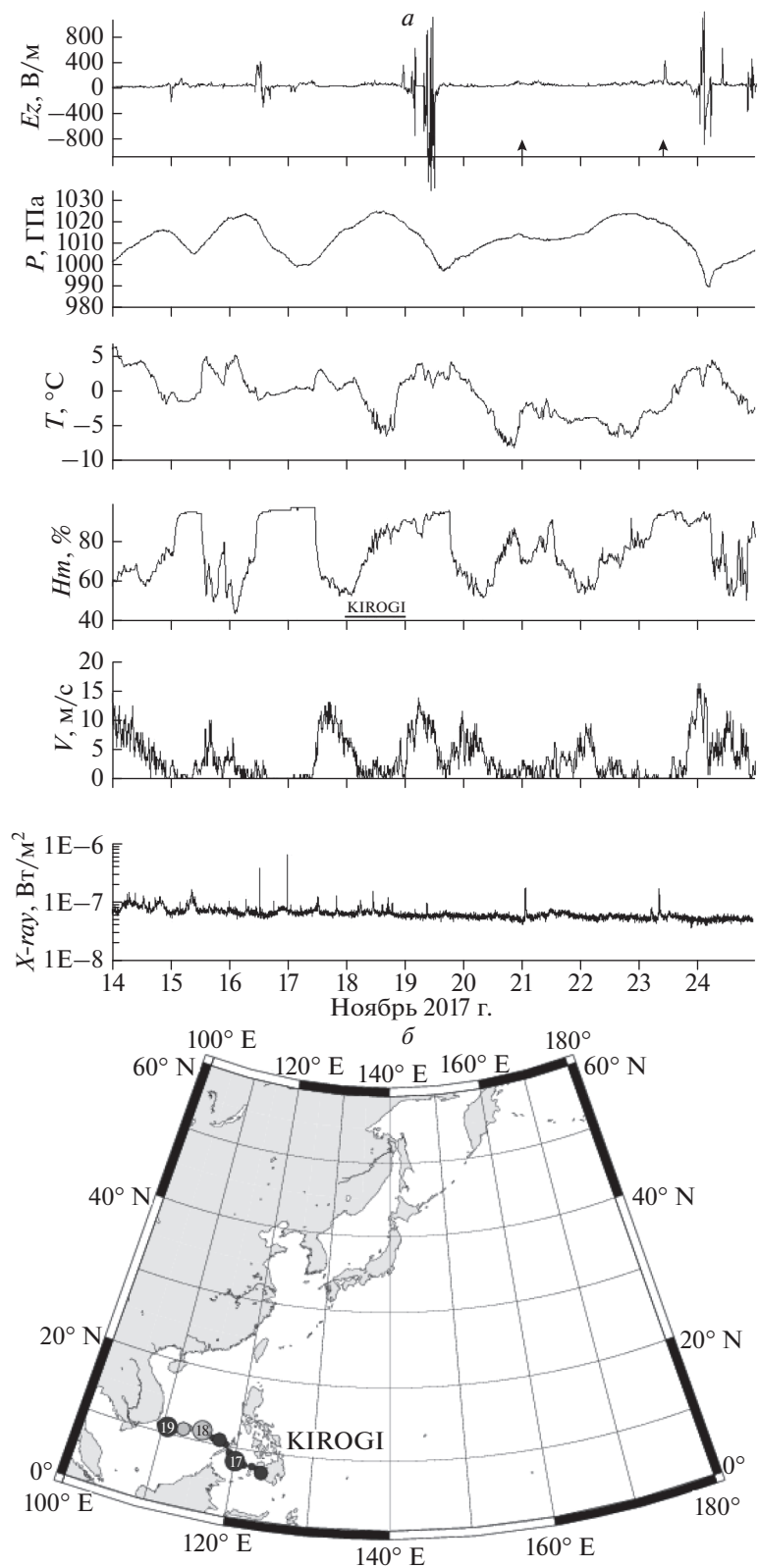


Рис. 7. То же, что и на рис. 1а, но для события 19 ноября 2017 г. (а) и трек тайфуна KIROGI 18 ноября (б).

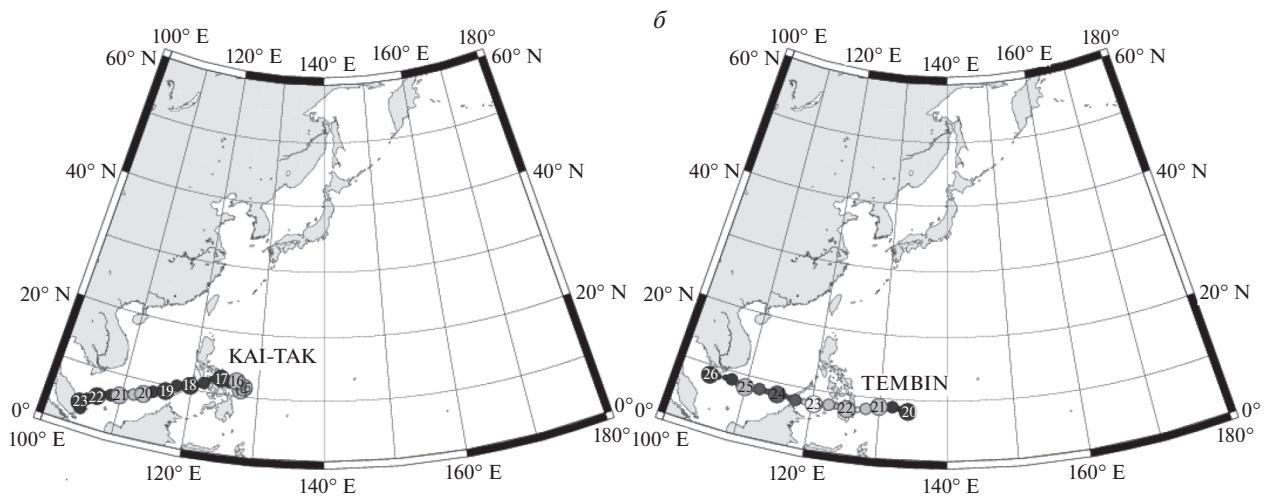
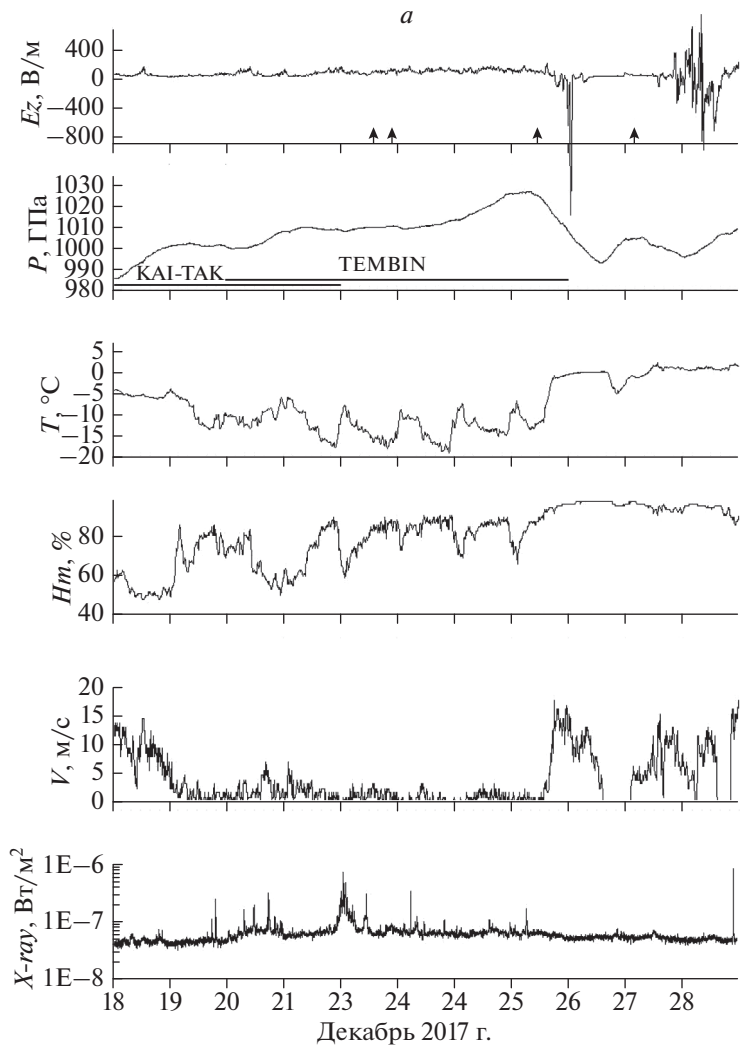


Рис. 8. То же, что и на рис. 1а, но для события 26–28 декабря 2017 г. (а) и треки тайфунов KAI-TAK с 14 по 21 декабря и TEMBIN с 20 по 25 декабря (б).

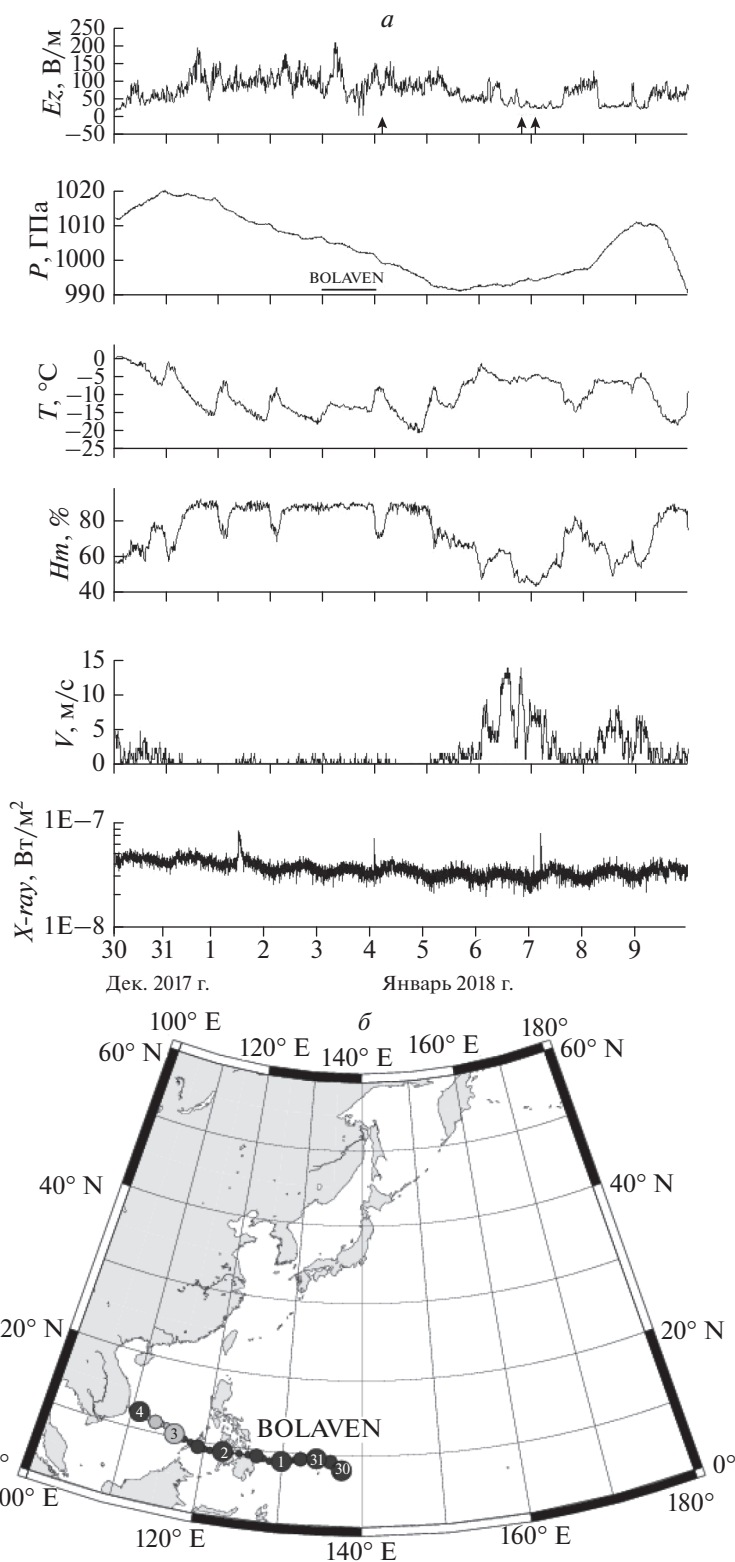


Рис. 9. То же, что и на рис. 1а, но для события 3 января 2018 г. (а) и трек тайфуна BOLAVEN 3 января (б).

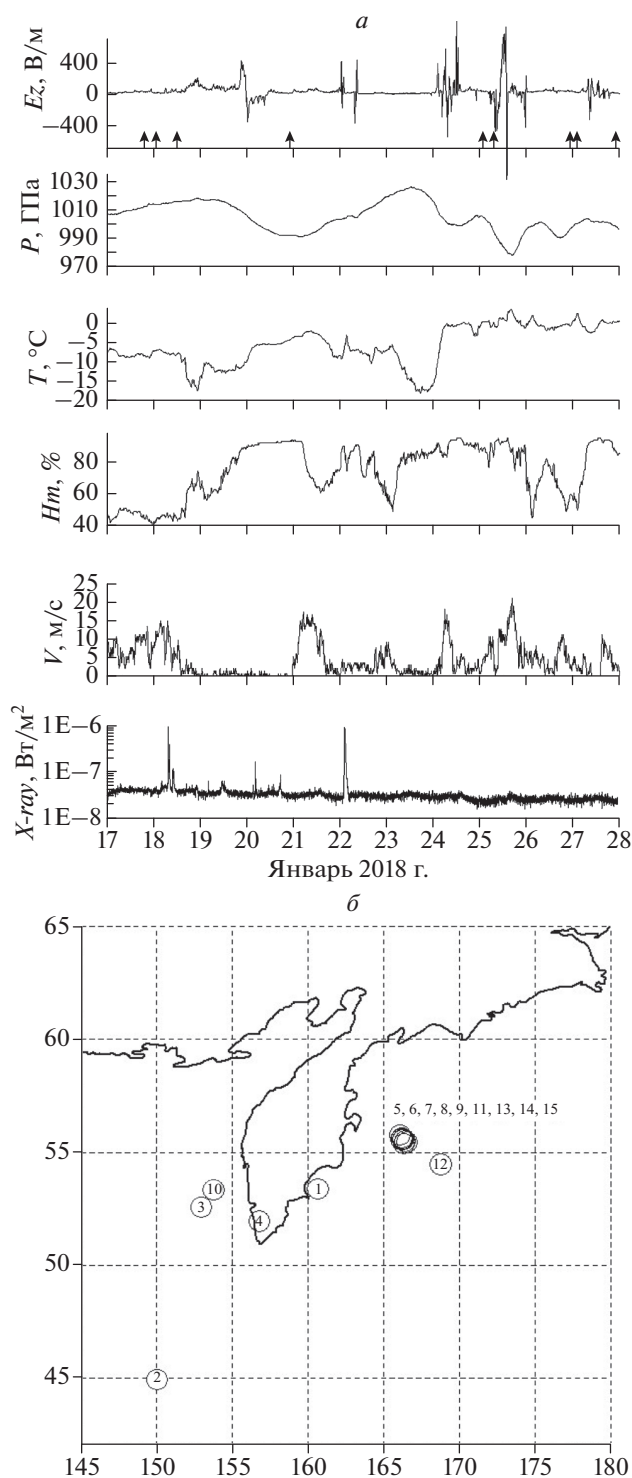


Рис. 10. То же, что и на рис. 1а, но для события 20–28 января 2018 г. (а) и карта расположения центров землетрясений (б). Цифры – их номера в табл. 2.

никами дополнительно притока тепла. Циклоны MAN-YI ($V_{\max} = 41$ м/с) и USAGI ($V_{\max} = 33$ м/с) действовали позже с 20 ноября и не могли оказать влияния на событие 18 ноября.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тропические циклоны, как известно [Матвеев, 1984], зарождаются с появлением атмосферного возмущения в довольно узкой по широте полосе ($\sim(5-20)^\circ$) и развиваются продолжительное время (от суток и более), перемещаясь с востока на запад. Их появление связано с ростом температуры воды на глубине ~ 50 м до величины $\sim 27^\circ\text{C}$ на огромной площади поверхности океана. По мере развития это возмущение переходит в состояние депрессии со скоростью ветра менее 17 м/с, далее – в шторм ($V_{\max} \leq 32$ м/с) и в ураган ($V_{\max} \sim 33-62$ м/с, минимальное давление P_{\min}) с образованием “глаза”. По введенной терминологии это состояние тропического цикла и называется в Тихом океане тайфуном. Его интенсивность определяется этими двумя величинами: V_{\max} и P_{\min} . Заканчивается тропический цикл стадией разрушения. В процессе его развития происходит интенсивное испарение водяного пара. В результате потоков вверх теплого и влажного воздуха в нижней атмосфере возникают благоприятные условия для образования мощной кучево-дождевой облачности с сильными грозами, обильными осадками и ураганными ветрами. При конденсации водяного пара выделяется скрытая теплота, к которой добавляется теплота, поступающая от поверхности океана при остывании, а также от разрядов молний. Таким образом, не вдаваясь в детали этого сложного метеорологического явления, тропические циклоны можно рассматривать как мощные источники электромагнитного излучения молниевыми разрядами в диапазоне частот от единиц Гц до десятков кГц. Это излучение уверенно регистрируется на больших расстояниях при распространении в приземном волноводе, в частности, на Камчатке [Михайлов и др., 2005; Дружин и др., 2008], а также во внешней ионосфере на высотах ~ 2500 км [Mikhailova et al., 2002].

Будучи источником электромагнитного излучения, тропические циклоны в Тихом океане являются также мощным источником тепла. Огромная масса теплого и влажного воздуха перемещается вдоль восточного азиатского побережья и, сталкиваясь с холодным воздухом, образует обычный среднеширотный циклон с характерными для него особенностями: локально при конвекции теплого влажного воздуха также образуются кучево-дождевые облака, выпадают обильные осадки в виде мокрого снега и дождя, усиливаются ветры. В некоторых редких случаях при сильных циклонах возникают зимние грозы. Таким образом, интенсивность среднеширотных циклонов на юге Камчатки непосредственно связана с интенсивностью тропических циклонов. Метеорологи связывают появление зимних гроз

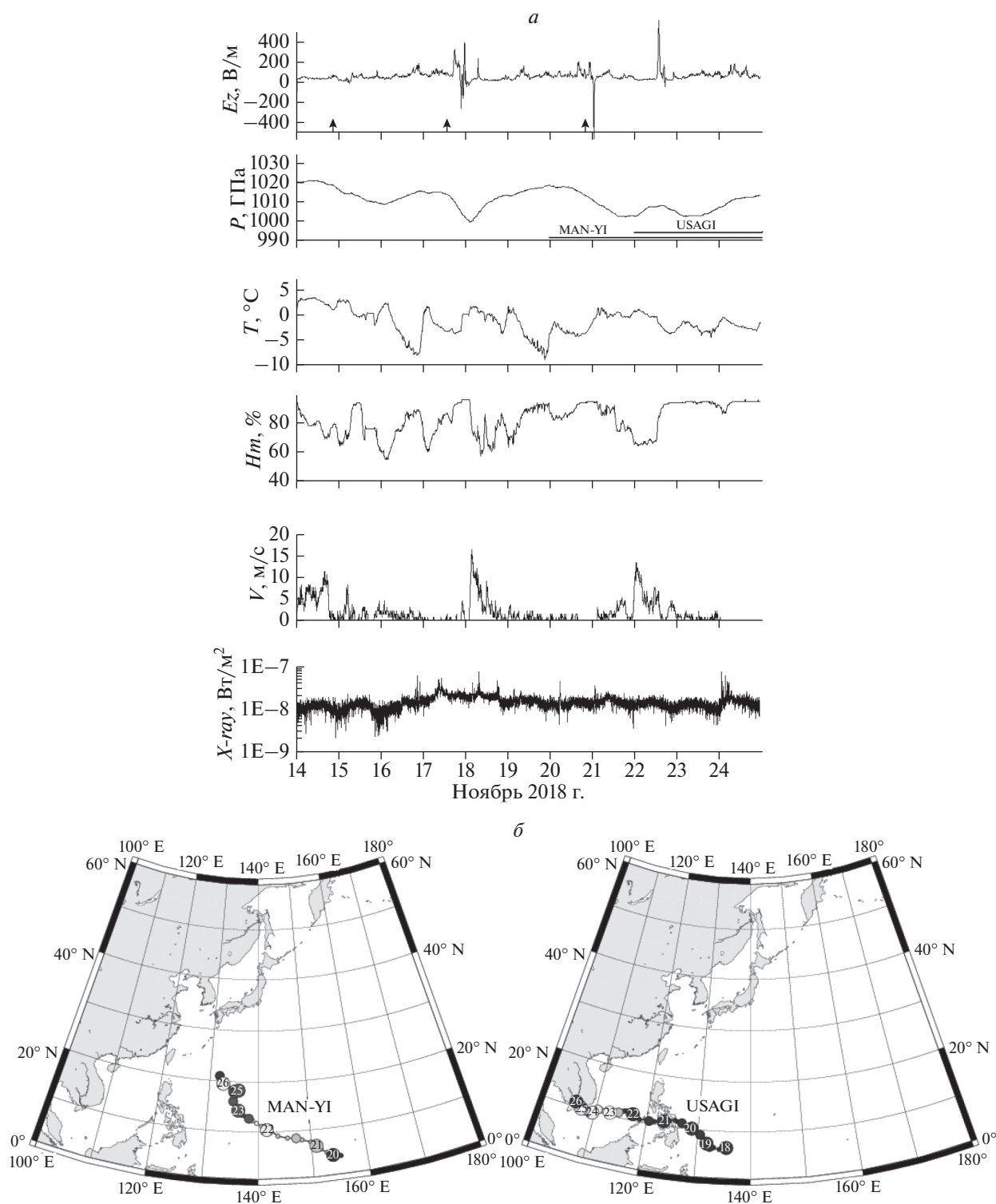


Рис. 11. То же, что и на рис. 1а, но для события 18–22 ноября 2018 г. (а) и треки тайфунов MAN-YI с 20 по 26 ноября USAGI с 22 по 26 ноября (б).

только с прохождением теплых среднеширотных циклонов. Так ли это?

Результаты анализа одиннадцати случаев зимних гроз на Камчатке в период с 2008 по 2018 гг.

с использованием записей напряженности квазистатического электрического поля в качестве индикатора грозовой активности, метеорологических величин, а также данных потоков рентге-

новского излучения для оценки солнечной активности, сейсмической и циклонической активностей показали следующее.

1. В случае 21 декабря 2014 г. в отсутствие тропических циклонов 19 и 20 декабря на фоне относительно слабой солнечной активности произошли солнечные вспышки с потоком X -лучей $\sim 10^{-4}$ Вт/м², которые можно рассматривать, по-видимому, в качестве источника дополнительного потока тепла в приземной атмосфере.

2. В случаях 26–31 декабря 2008 г., 18–19 ноября 2012 г., 20–28 января 2018 г., 18–22 ноября 2018 г. при условиях слабой солнечной активности и отсутствии тропических циклонов в качестве источников дополнительного потока тепла в приземной атмосфере, по-видимому, следует рассмотреть рой умеренных землетрясений (до 15) вблизи восточной границы полуострова. Аналогичная ситуация при близких землетрясениях наблюдалась ранее в работе [Михайлов и др., 2006б], а также в работе [Кузнецов и др., 2007]. Последняя работа интересна тем, что ее результаты позволяют проследить зарождение среднеширотных циклонов при затухании тропического циклона ТАРАН на расстояниях до ~ 3000 км до Камчатки и движении их на север. Дополнительным аргументом в пользу вывода о сейсмическом источнике дополнительного притока тепла в приземной атмосфере могли бы быть результаты регистрации уходящего инфракрасного излучения на метеорологических спутниках.

3. В остальных рассмотренных в работе случаях причиной зимних гроз, кроме случая 3 января 2018 г., действительно являлись тропические циклоны с интенсивностью от 18 до 59 м/с.

Таким образом, тропические циклоны в Тихом океане, являются возможным, но не единственным источником дополнительного потока тепла для возникновения локальных зимних гроз на Камчатке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бенндорф Г. Атмосферное электричество. М., Л.: ОНТИ. Государственное технико-теоретическое изд-во. 123 с. 1934. (Перевод с немецкого).
- Бузевич А.В., Смирнов С.Э., Филимонов В.И., Фирстов П.П. Специализированный аппаратный комплекс (АПК) сбора и обработки геофизической информации обс. Паратунка / Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений / Ред. Е.Ф. Вершинин, В.В. Богданов. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. Тез. докл. С. 30–38. 1998.
- Дружин Г.И., Тарасенко Д.В., Пухов В.М., Злыгостев А.В. Аппаратурный комплекс для определения азимутальных углов прихода импульсных ОНЧ-излучений / Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений / Ред. Ю.С. Шумилов, Г.И. Дружин. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. Тез. докл. С. 32–33. 2001.
- Дружин Г.И., Чернева Н.В., Мельников А.Н. Грозовая активность по наблюдениям ОНЧ-излучения на Камчатке // Солнечно-земная физика. Вып. 12. Т. 2. С. 327–328. 2008.
- Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Дружин Г.И. О влиянии циклонов на атмосферное электрическое поле Камчатки // ДАН. Т. 412. № 4. С. 547–551. 2007.
- Кузнецов В.Д., Боднар Л., Гарипов Г.К. + 17 авторов. Орбитальный мониторинг ионосферы и аномальных явлений на малом спутнике “Вулкан-Компас-2” // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 51. № 3. С. 333–345. 2011.
- Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат. 752 с. 1984.
- Михайлов Ю.М., Дружин Г.И., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Динамика грозовой активности во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 46. № 6. С. 825–839. 2006а.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э. Электрические и электромагнитные процессы в приземной атмосфере перед землетрясениями на Камчатке // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 46. № 6. С. 839–852. 2006б.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Чернева Н.В. Возможные атмосферные эффекты в нижней ионосфере по наблюдениям атмосферных радишумов на Камчатке во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 45. № 6. С. 824–839. 2005.
- Смирнов С.Э., Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Особенности зимних гроз на Камчатке // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 59. № 6. С. 742–749. 2019.
- Юман М. Молния. М.: Мир, 328с. 1972. (Перевод с английского).
- Mikhailova G.A., Mikhailov Yu.M., Kapustina O.V. Variations of ULF-VLF electric fields in the external ionosphere over powerful typhoons in Pacific ocean // Adv. Space Res. V. 30. N11. P. 2613–2618. 2002.
- 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.
- Solar Influences Data Analysis Center (SIDC), <http://www.staff.oma.be/default.jsp>.
- Search for earthquakes, <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes>.
- <https://yandex.ru/pogoda/paratunka/month>.
- <https://www.global-weather.ru/archive/paratunka>.