

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra25.04.290>

УДК 550.385.37:550.388 Y. LUO, Л. Ф. ЧОРНОГОР

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна  
E-mail: Leonid.F.Chernogor@gmail.com

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЕФЕКТИ АКУСТИКО-ГРАВІТАЦІЙНИХ ХВИЛЬ У ПРИЗЕМНІЙ АТМОСФЕРІ

*Предмет і мета роботи: Акустико-гравітаційні хвилі (АГХ) являють собою сукупність акустичних і гравітаційних хвиль. Джерелами АГХ є багато природних та техногенних явищ. Рух АГХ на висотах іоносфери супроводжується генерацією збурень магнітного й електричного полів. Основну роль відіграє наявність плазми. Механізми генерації магнітних і електричних збурень в приземній атмосфері, які викликаються АГХ, вивчені значно гірше. Обґрунтування можливості генерації електромагнітних збурень у приземній атмосфері під дією АГХ є актуальною задачею. Мета цієї роботи – опис механізму генерації збурень електричного та магнітного полів у приземній атмосфері під дією АГХ і оцінка амплітуд цих збурень для різних джерел АГХ.*

*Методи і методологія. Вплив на геосфери цілої низки високоенергійних джерел часто призводить до генерації синхронних збурень акустичного та геоелектричного (атмосферного) полів. Водночас спостерігається приблизна пропорційність амплітуди збурень атмосферного електричного поля й амплітуди тиску. За даними спостережень з використанням рівняння Максвелла виконано теоретичні оцінки збурень електричного та магнітного полів.*

*Результати. Отримано прості співвідношення, які дозволяють оцінити амплітуди електричного та магнітного полів під дією АГХ, що генеруються природними та техногенними джерелами. Виконано оцінки амплітуди електричного та магнітного полів, генерованих в приземній атмосфері внаслідок руху АГХ природного та техногенного походження. Показано, що амплітуди електричного та магнітного полів, генерованих АГХ, є достатніми для ресстрації існуючими електрометрами-флюксметрами та магнітометрами-флюксметрами. Значення амплітуд електричного та магнітного полів, генерованих в приземній атмосфері під дією АГХ, є достатні для активізації взаємодії підсистем у системі Земля – атмосфера – іоносфера – магнітосфера.*

*Висновок: Результати оцінок добре відповідають результатам нечисленних спостережень.*

*Ключові слова: акустико-гравітаційні хвилі, приземна атмосфера, об'ємний заряд, збурення атмосферного тиску, електричне поле, магнітне поле*

### 1. Вступ

Акустико-гравітаційні хвилі (АГХ) являють собою сукупність акустичних і гравітаційних хвиль. У атмосфері для перших період  $T \leq 5 \div 10$  хв, для других –  $T > 5 \div 10$  хв [1–3].

Джерелами АГХ є багато природних та техногенних явищ. До природних джерел АГХ належать падіння великих космічних тіл (метеороїдів) [4–13]; геокосмічні бурі [14–20]; сонячні затемнення [21–41]; сонячний термінатор [42–48]; полярні саява [14–20]; погодні фронти, циклони, торнадо та урагани [49–54]; обтікання вітром гір [20]; вибухи та виверження вулканів [55–64]; гірські лавини [65]; морські шторми [66–74]; великі пожежі [75, 76]; сильні землетруси [77–92]; цунамі [87, 93]; грози [94–100] тощо.

До техногенних джерел АГХ віднесемо ядерні вибухи [101–113], хімічні вибухи [114–121], старти та польоти ракет [122–136], вплив потужного радіовипромінювання [137–149], польоти великих літаків [150–152], вітрові електростанції [153],

мегаполіси [76, 154, 155], скиди води з гребель [155], приземлення космічних човників [156] тощо.

Рух АГХ на висотах іоносфери супроводжується генерацією збурень магнітного й електричного полів. Механізми генерації досить добре вивчені (див., наприклад, [49, 65, 157]). Вони пов'язані з модуляцією провідності іоносферної плазми та появою стороннього струму під дією АГХ. Головну роль відіграє наявність плазми.

Механізми генерації магнітних та електричних збурень у приземній атмосфері, що викликаються АГХ, вивчені значно гірше, є лише окремі роботи [54, 76, 154, 155]. У [54, 76, 154] показано, що генерація АГХ часто супроводжується генерацією збурень електричного поля з тим самим періодом. У роботі [158] обговорюється вплив циклонічної активності на збурення геомагнітного поля. У [155] виконано оцінки магнітного й електричного ефектів інфразвуку від різних джерел.

Таким чином, вивчення можливості генерації електромагнітних збурень у приземній атмосфері під дією АГХ є актуальною задачею.

Значний інтерес становить дослідження електромагнітних збурень з точки зору взаємодії підсистем у системі Земля – атмосфера – іоносфера – магнітосфера (ЗАІМ), що здійснюється за допомогою геофізичних полів, потоків енергії, частинок, випромінювань. Важливим є також вивчення електромагнітної активності приземної атмосфери, що має на меті запобігання природним катастрофам і катаклізмам. Нарешті, моніторинг електромагнітної обстановки необхідний для контролю довкілля людей, особливо актуальним це є для мегаполісів.

Мета цієї роботи – опис механізму генерації збурень електричного та магнітного полів у приземній атмосфері під дією АГХ і оцінка амплітуд цих збурень для різних джерел АГХ.

## 2. Вихідні співвідношення

Відомо, що вплив на геосфери цілої низки високоенергійних джерел часто призводить до генерації синхронних збурень акустичного та геоелектричного (атмосферного) полів [159–163]. Важливо, що при цьому спостерігається приблизна пропорційність амплітуди збурень атмосферного електричного поля  $E_a$  й амплітуди тиску  $\Delta p$ . Механізм генерації збурень електричного поля пов'язаний, найімовірніше, з варіаціями густини об'ємного заряду  $\Delta \rho_{el}$  в приземній атмосфері (висоти  $10 \div 100$  м) при періодичних змінах тиску повітря в полі АГХ або ударної хвилі [159–162]. Оцінимо амплітуду електричного поля  $E_a$ .

З рівняння Максвелла

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = \frac{\Delta \rho_{el}}{\epsilon_0}$$

маємо наступне співвідношення для оцінки амплітуди:

$$\frac{E_a}{L_z} \approx \frac{\Delta \rho_{el}}{\epsilon_0}, \quad (1)$$

де  $L_z = \min\{L_t, k_a^{-1}, H_E\}$ . Тут  $L_t \approx 10 \div 100$  м – товщина приземного шару атмосфери з об'ємним електричним зарядом  $\Delta \rho_{el0}$ ,  $k_a$  – хвильове число АГХ,  $H_E \approx 2.5 \div 4$  км – характерний висотний масштаб зміни атмосферного електричного поля  $E$ . За періоду АГХ  $T > 0.2 \div 2$  с маємо  $L_z \approx L_t \approx 10 \div 100$  м. З огляду на те, що заряджена компонента в приземній атмосфері є малою домі-

шкою до концентрації нейтральних частинок  $N_n$ , зміна  $\Delta \rho_{el}$  складає

$$\Delta \rho_{el} \approx \rho_{el0} \frac{\Delta N_n}{N_{n0}} \approx \rho_{el0} \frac{\Delta p}{p}. \quad (2)$$

Тоді з (1) і (2) випливає, що

$$E_a \approx \frac{\rho_{el0} L_t}{\epsilon_0} \frac{\Delta p}{p}, \quad (3)$$

тобто амплітуда  $E_a$  дійсно пропорційна надлишковому тиску  $\Delta p$ .

Незбурене електричне поле (поле ясної погоди) біля поверхні Землі зазвичай є близьким до 100 В/м. Через те що чутливість електрометрів становить 0.01 В/м, реєстрація збурень приземного електричного поля, викликаних АГХ, не становила б труднощів за умови  $E_a > 0.01$  В/м.

Поширення АГХ уздовж поверхні Землі супроводжується біжучою хвилею збурення електричного поля з частотою хвилі  $\omega$  і амплітудою  $E_a$  (див. вираз (3)). Періодичні варіації надлишкового тиску  $\Delta p$  в полі АГХ викликають періодичні зміни електричного поля  $E$ . При цьому слід очікувати періодичних варіацій магнітного поля. Оцінимо амплітуду індукції магнітного поля  $B_a = \mu_0 H_a$ . Нехтуючи струмом провідності, з рівняння Максвелла

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

для амплітуди  $B_a$  маємо наступне співвідношення:

$$B_a = \frac{\epsilon_0 \mu_0 \omega}{k} E_a = \frac{\omega E_a}{kc^2} = \frac{E_a}{c}, \quad (4)$$

де  $k = \omega/c$  – хвильове число електромагнітного поля. Тут враховано, що  $|\operatorname{rot} \mathbf{B}| \approx kB_a$ ,  $|\partial \mathbf{E} / \partial t| \approx \omega E_a$ . За умови  $E_a > 0.01 \div 0.1$  В/м амплітуда  $B_a > 0.03 \div 0.3$  нТл. Такий ефект легко реєструється.

## 3. Результати розрахунків

Результати розрахунків амплітуд електричного й магнітного полів під дією природних і техногенних джерел наведені в табл. 1 і 2. У розрахунках використовувалися типові значення для товщини приземного шару атмосфери з об'ємним зарядом

Таблиця 1. Електричний та магнітний ефекти природніх джерел АГХ

Джерело	$\Delta p$ , Па	$T$ , с	$E_a$ , В/м	$B_a$ , нТл	Примітка
Сонячне затемнення	0.1	300 ÷ 3000	0.01	0.04	Площа генерації – $10^{13}$ м <sup>2</sup>
	0.3		0.03	0.11	
	1		0.11	0.37	
	3		0.33	1.10	
Сонячний термінатор	0.1	300 ÷ 3000	0.01	0.04	Площа генерації – $10^{10} \div 10^{11}$ м <sup>2</sup>
	0.3		0.03	0.11	
	1		0.11	0.37	
	3		0.33	1.10	
Геокосмічна буря	0.1	10 ÷ 100	0.01	0.04	Площа – $2 \cdot 10^{14}$ м <sup>2</sup>
	0.3		0.03	0.11	
	1	300 ÷ 3000	0.11	0.37	
	3		0.33	1.10	
Полярні саява	0.1	10 ÷ 100	0.01	0.04	Площа – $10^{13}$ м <sup>2</sup>
	0.3		0.03	0.11	
	1		0.11	0.37	
	3		0.33	1.10	
Політ метеороїда: – енергія 1 ТДж – енергія 10 ТДж – енергія 100 ТДж – енергія 1 ПДж – енергія 10 ПДж – енергія 100 ПДж	0.50	2 ÷ 5	0.06	0.18	Відстань $R = 100$ км
	1.13	4 ÷ 11	0.12	0.41	
	2.53	9 ÷ 23	0.28	0.93	
	5.66	20 ÷ 50	0.62	2.07	
	12.65	40 ÷ 110	1.39	4.63	
	28.28	100 ÷ 230	3.11	10.3	
Погодний фронт, циклон	1	100 ÷ 3000	0.11	0.37	Поблизу фронту
	3		0.33	1.10	
	10		1.10	3.70	
Ураган	10	100 ÷ 3000	1.1	3.7	Поблизу урагана
	30		3.3	11	
	60		6.6	22	
	100		11	37	
Обтікання вітром гір	1	50 ÷ 300	0.11	0.37	Поблизу гір
	3		0.33	1.10	
	10	300 ÷ 3000	1.10	3.7	
	30		3.30	11	
Вибух вулкана: – енергія 100 ТДж – енергія 1 ПДж – енергія 10 ПДж – енергія 100 ПДж	2	1 ÷ 300	0.22	0.73	Відстань $R = 1000$ км
	6.3		0.69	2.31	
	20	300 ÷ 3000	2.2	7.3	
	63		6.9	23.1	
Гірська лавина	1	10 ÷ 30	0.11	0.37	Поблизу лавини
	3	30 ÷ 60	0.33	1.1	
	10	60 ÷ 90	1.1	3.7	
	30	90 ÷ 150	3.3	11	
	100	150 ÷ 220	11	37	
	300	220 ÷ 300	33	110	
Морський шторм	0.1	5 ÷ 7	0.01	0.04	Поблизу шторма, швидкість вітру – $10 \div 20$ м/с
	0.3	7 ÷ 10	0.03	0.11	
	1	10 ÷ 13	0.11	0.37	
	3	13 ÷ 16	0.33	1.1	
	10	16 ÷ 20	1.1	3.7	

Закінчення таблиці 1

Джерело	$\Delta p$ , Па	$T$ , с	$E_a$ , В/м	$V_a$ , нТл	Примітка
Лісна пожежа: – площа $3 \cdot 10^3$ км <sup>2</sup> – площа $10^4$ км <sup>2</sup> – площа $3 \cdot 10^4$ км <sup>2</sup> – площа $10^5$ км <sup>2</sup> – площа $3 \cdot 10^5$ км <sup>2</sup>	1 3 10 30 100	$10 \div 300$ $300 \div 3000$	0.11 0.33 1.1 3.3 11	0.37 1.1 3.7 11 37	Поблизу пожежі
Цунамі: – площа $3 \cdot 10^2$ км <sup>2</sup> – площа $10^4$ км <sup>2</sup> – площа $3 \cdot 10^4$ км <sup>2</sup> – площа $10^5$ км <sup>2</sup>	1 3 10 30	$100 \div 1000$	0.11 0.33 1.1 3.3	0.37 1.1 3.7 11	Поблизу цунамі
Землетрус: – енергія 1 ТДж – енергія 10 ТДж – енергія 100 ТДж – енергія 1 ПДж – енергія 10 ПДж – енергія 100 ПДж – енергія 1 ЕДж – енергія 10 ЕДж	0.80 1.79 3.58 8.0 17.9 35.8 80.0 179	$0.4 \div 0.5$ $0.8 \div 1$ $2 \div 2.5$ $4 \div 5$ $8 \div 10$ $20 \div 25$ $40 \div 50$ $80 \div 100$	0.09 0.20 0.39 0.88 2.0 3.9 8.8 20	0.29 0.66 1.31 2.93 6.56 13.11 29.3 65.6	Поблизу епіцентра
Спокійні умови	0.1 0.3 0.5 0.7 1	$0.1 \div 1$	0.01 0.03 0.08 0.11	0.04 0.11 0.06 0.26 0.37	0.18
Гроза	0.1 0.3 1 3 10	$1 \div 2$	0.01 0.03 0.11 0.33 1.10	0.04 0.11 0.37 1.1 3.7	Відстань $R = 10$ км

(100 м) і середнє значення густини об'ємного заряду ( $10^{-9}$  Кл/м<sup>3</sup>) [155]. Значення амплітуд і періодів коливань АГХ взяті з наведеної у Вступі літератури. У разі їх відсутності ці параметри отримувалися авторами розрахунковим шляхом. З табл. 1 і 2 видно, що амплітуди електричного та магнітного полів мають достатні для реєстрації значення. Слід зауважити, що чутливість електрометрів-флюксометрів зазвичай не гірше 0.01 В/м, а магнітометрів-флюксометрів – 10 пТл.

#### 4. Обговорення

Отримані співвідношення для амплітуди електричного поля підтверджують спостережуваний факт, що квазіперіодичні варіації електричного поля  $E(t)$  часто пропорційні варіаціям тиску  $p(t)$  в приземній

атмосфері [154, 159, 160]. Є підстави вважати, що це пов'язано з квазіперіодичними варіаціями густини об'ємного заряду  $\rho(t)$ . У низці випадків такий зв'язок порушується, можливо через те, що значення об'ємного заряду  $\rho$  істотно менше типових значень ( $\sim 10^{-9}$  Кл/м<sup>3</sup>), й через те, що товщина шару  $L$  набагато менша 100 м. З іншого боку, перед грозами, в ураганах і тайфунах ці параметри можуть значно збільшуватися. Наприклад,  $\rho$  може досягати значень  $10^{-8}$  Кл/м<sup>3</sup> [163], а  $L$  – декількох кілометрів [158]. При цьому слід очікувати значного збільшення амплітуди електричного поля  $E_a$ .

Квазіперіодичні варіації електричного поля  $E(t)$ , відповідно до рівнянь Максвелла, мають супроводжуватися квазіперіодичними варіаціями індукції магнітного поля.

Таблиця 2. Електричний і магнітний ефекти техногенних джерел АГХ

Джерело	$\Delta p$ , Па	$T$ , с	$E_a$ , В/м	$B_a$ , нТл	Примітка
Ядерний вибух:					Відстань:
– еквівалент 1 кт	71	5 ÷ 10	8	26.6	$R = 10$ км
– еквівалент 10 кт	230	11 ÷ 22	28	93	$R = 10$ км
– еквівалент 100 кт	1054	23 ÷ 47	116	386	$R = 10$ км
– еквівалент 1 Мт	163	50 ÷ 100	90	600	$R = 100$ км
– еквівалент 10 Мт	816	100 ÷ 215	259	300	$R = 100$ км
– еквівалент 100 Мт	2360	230 ÷ 470	470	864	$R = 100$ км
– еквівалент 1 Гт	710	500 ÷ 1000	80	266	$R = 1000$ км
Хімічний вибух:					Відстань:
– маса 1 кг	2.2	0.05 ÷ 0.1	0.24	0.81	$R = 100$ м
– маса 10 кг	3.2	0.11 ÷ 0.22	0.35	1.17	$R = 220$ м
– маса 100 кг	4.6	0.23 ÷ 0.46	0.51	1.68	$R = 480$ м
– маса 1 т	7	0.5 ÷ 1	0.77	2.56	$R = 1$ км
– маса 10 т	10	1.1 ÷ 1.2	1.1	3.66	$R = 2.2$ км
– маса 100 т	15	2.3 ÷ 4.6	1.65	5.6	$R = 4.8$ км
– маса 1 кт	22	5 ÷ 10	2.42	8.01	$R = 10$ км
Старт ракети:					
– тяга $10^6$ Н	1.2	1	0.13	0.43	$R = 10$ км
– тяга $3 \cdot 10^6$ Н	2.2	1.5	0.24	0.80	
– тяга $10^7$ Н	3.9	2.2	0.43	1.43	
– тяга $3 \cdot 10^7$ Н	7	3.1	0.77	2.57	
Зліт літака:					
– потужність 1 МВт	2.5	0.1 ÷ 0.3	0.28	0.93	$R = 100$ км
– потужність 3 МВт	4.3	0.3 ÷ 0.5	0.48	1.60	
– потужність 10 МВт	7.9	0.5 ÷ 0.7	0.87	2.90	
– потужність 30 МВт	13.7	0.7 ÷ 0.9	1.51	5.0	
– потужність 100 МВт	25	0.9 ÷ 1.1	2.8	9.3	
Вітрова електростанція:					
– потужність 1 кВт	0.1		0.01	0.04	$R = 10$ м
– потужність 10 кВт	0.3		0.03	0.11	
– потужність 100 кВт	1		0.11	0.37	
– потужність 1 МВт	3	5 ÷ 10	0.33	1.1	
– потужність 10 МВт	10		1.1	3.7	
– потужність 100 МВт	30		3.3	11	
– потужність 1 ГВт	100		11.1	37	
Мегаполіс:					
– площа $10^2$ км <sup>2</sup>	0.3	0.03 ÷ 0.05	0.033	0.11	У центрі міста
– площа $3 \cdot 10^2$ км <sup>2</sup>	1	0.05 ÷ 0.10	0.11	0.37	
– площа $10^3$ км <sup>2</sup>	3	0.07 ÷ 0.12	0.33	1.1	
– площа $3 \cdot 10^3$ км <sup>2</sup>	10	0.10 ÷ 0.20	1.1	2.66	
Скид води з плотини:					
– потужність ГЕС 10 МВт	0.8	0.2 ÷ 2	0.09	0.30	$R = 1$ км
– потужність ГЕС 100 МВт	2.5	0.5 ÷ 5	0.28	0.95	
– потужність ГЕС 1 ГВт	8	1 ÷ 10	0.88	2.93	
Приземлення космічного корабля:					
– маса 1 т	0.08	0.2 ÷ 2	0.01	0.03	$R = 10$ км
– маса 10 т	0.8	0.5 ÷ 5	0.09	0.3	
– маса 100 т	8	1 ÷ 10	0.9	3	

Додамо, що наші оцінки підтверджуються нечисленними спостереженнями синхронних варіацій електричного поля та пульсацією атмосферного тиску [76, 154].

Так, під час проходження атмосферного фронту тиск  $p_a$  досягає  $20 \div 40$  Па, а амплітуда електричного поля  $E_a \approx 2 \div 10$  кВ/м [76]. Якби  $\rho = 5 \cdot 10^{-10}$  Кл/м<sup>3</sup>, а  $L \approx 100$  м, то  $E_a \approx 1.1 \div 2.2$  В/м. Для відповідності даним спостережень слід припустити, що  $\rho \approx (0.5 \div 2.5) \cdot 10^{-8}$  Кл/м<sup>3</sup>, а  $L \approx 10$  км.

Для типового випадку проходження атмосферного фронту, описаного в роботі [159], при значенні тиску  $p_a \approx 15$  Па амплітуда становила  $E_a \approx 1500$  В/м. За таких умов повинно бути  $\rho \approx 10^{-8}$  Кл/м<sup>3</sup> та  $L \approx 10$  км.

Перед початком грози  $p_a \approx 6$  Па та  $E_a \approx 300$  В/м, період  $T \approx 10$  хв [159]. За нашими оцінками,  $\rho \approx 5 \cdot 10^{-9}$  Кл/м<sup>3</sup>, а  $L \approx 10$  км.

Під час руху ранкового сонячного термінатора  $p_a \approx 3$  Па,  $E_a \approx 10 \div 20$  В/м,  $T \approx 10$  хв [159]. Для  $L \approx 10$  км маємо  $\rho \approx (3 \div 7) \cdot 10^{-10}$  Кл/м<sup>3</sup>.

Під час великої (площа загоряння  $\sim 1.5 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>) пожежі  $p_a \approx 30$  Па,  $E_a \approx 90$  В/м,  $T \approx 4 \div 5$  хв [76]. За таких умов для  $L \approx 1$  км маємо  $\rho \approx 3 \cdot 10^{-9}$  Кл/м<sup>3</sup>.

Таким чином, амплітуди генерованих АГХ електричних і магнітних полів мають досить великі значення, щоб викликати взаємодії підсистем у системі ЗАІМ при впливі в одній з підсистем потужного джерела енерговиділення.

## 5. Основні результати

1. Отримано прості співвідношення, що дозволяють оцінити амплітуди електричного та магнітного полів під дією АГХ, генерованих природними та техногенними джерелами.

2. Виконано оцінки амплітуди електричного та магнітного полів, генерованих у приземній атмосфері внаслідок руху АГХ природного та техногенного походження.

3. Показано, що значення амплітуд генерованих АГХ електричного та магнітного полів достатні для реєстрації існуючими електрометрами-флюксометрами та магнітометрами-флюксометрами.

4. Результати оцінок добре відповідають результатам нечисленних спостережень.

5. Значення амплітуд електричного та магнітного полів, генерованих у приземній атмосфері під

дією АГХ, достатні для активізації взаємодії підсистем в системі ЗАІМ.

Робота Л. Ф. Черногора фінансувалася в рамках держбюджетної НДР установ МОН України, номер держреєстрації 0119U002538. Робота У. Люта та Л. Ф. Черногора виконана також за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України, проєкт 2020.02/0015 “Теоретичні та експериментальні дослідження глобальних збурень природного і техногенного походження в системі Земля – атмосфера – іоносфера”.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Госсард Э. Э., Хук У. Х. *Волны в атмосфере*. Москва: Мир, 1978. 532 с.
2. Parrot C. J. *An Introduction to Atmospheric Gravity Waves*. San Diego, CA, USA; London, UK: Academic Press, 2002. 400 p.
3. *Infrasound monitoring for atmospheric studies*. A. Le Pichon, E. Blanc, and A. Hauchecorne, eds. Switzerland: Springer Int. Publ., 2019. 1167 p. DOI: 10.1007/978-3-319-75140-5
4. ReVelle D. O. On meteor-generated infrasound. *J. Geophys. Res.* 1976. Vol. 81, Is. 7. P. 1217–1240. DOI: 10.1029/JA081i007p01217
5. Arrowsmith S. J., ReVelle D., Edwards W., and Brown P. Global Detection of Infrasonic Signals from Three Large Bolides. In: J. M. Trigo-Rodriguez, F. J. M. Rietmeijer, J. Llorca, and D. Janches, eds. *Advances in Meteoroid and Meteor Science*. New York, NY: Springer, 2007. P. 357–363. DOI: 10.1007/978-0-387-78419-9\_50
6. Edwards W. N. Meteor Generated Infrasound: Theory and Observation. In: A. Le Pichon, E. Blanc, and A. Hauchecorne, eds. *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer Int. Publ., 2010. P. 361–414. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_12
7. Ens T. A., Brown P. G., Edwards W. N., and Silber E. A. Infrasound production by bolides: A global statistical study. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2012. Vol. 80. P. 208–229. DOI: 10.1016/j.jastp.2012.01.018
8. Черногор Л. Ф., Барабаш В. В. Ионосферные возмущения, сопровождавшие пролет Челябинского тела. *Кинематика и физика небесных тел*. 2014. Т. 30, № 3. С. 27–42.
9. Черногор Л. Ф. Акустические эффекты Челябинского метеороида. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2017. Т. 22, № 1. С. 53–66. DOI: 10.15407/rpra22.01.053
10. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Системный спектральный анализ инфразвукового сигнала, сгенерированного Челябинским метеороидом. *Известия вузов. Радиоэлектроника*. 2017. № 8. С. 427–436. DOI: 10.20535/S0021347017080015
11. Черногор Л. Ф., Лящук А. И. Параметры инфразвуковых волн, сгенерированных Челябинским метеороидом 15 февраля 2013 г. *Кинематика и физика небесных тел*. 2017. Т. 33, № 2. С. 60–72.

12. Черногор Л. Ф., Шевелев Н. Б. Характеристики инфразвукового сигнала, сгенерированного Челябинским космическим телом: глобальная статистика. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2018. Т. 23, № 1. С. 24–35. DOI: 10.15407/rpra23.01.024
13. Черногор Л. Ф. Статистичний аналіз параметрів інфразвуку, згенерованого Челябінським метеороїдом. *Кінематика і фізика небесних тіл*. 2020. Т. 36, № 4. С. 35–57.
14. Campbell W. H. and Young J. M. Auroral-zone observations of infrasonic pressure waves related to ionospheric disturbances and geomagnetic activity. *J. Geophys. Res.* 1963. Vol. 68, Is. 21. P. 5909–5916. DOI: 10.1029/JZ068i021p05909
15. Maeda K. and Watanabe T. Pulsating Aurorae and Infrasonic Waves in the Polar Atmosphere. *J. Atmos. Sci.* 1964. Vol. 21, Is. 1. P. 15–29. DOI: 10.1175/1520-0469(1964)021%3C0015:PAAIWI%3E2.0.CO;2
16. Chimonas G. Infrasonic waves generated by auroral currents. *Planet. Space Sci.* 1970. Vol. 18, Is. 4. P. 591–598. DOI: 10.1016/0032-0633(70)90134-0
17. Ерущенков А. И., Довбня Б. В. О связи высокочастотного инфразвука и геомагнитных пульсаций в авральной зоне. *Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца*. 1977. Вып. 43. С. 142–146.
18. Suzuki Y. Auroral infrasonic waves and the auroral electrojet. *J. Atmos. Terr. Phys.* 1979. Vol. 41, Is. 1. P. 11–23. DOI: 10.1016/0021-9169(79)90042-4
19. Suzuki Y. Temporal and spatial changes of polar substorms and infrasonic wave emissions. *Planet. Space Sci.* 1979. Vol. 27, Is. 9. P. 1195–1208. DOI: 10.1016/0032-0633(79)90139-9
20. Wilson C. R., Szuberla C. A. L., and Olson J. V. High-latitude Observations of Infrasonics from Alaska and Antarctica: Mountain Associated Waves and Geomagnetic/Auroral Infrasonic Signals. In: A. Le Pichon, E. Blanc, and A. Hauchecorne, eds. *Infrasonics Monitoring for Atmospheric Studies*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer Int. Publ., 2010. P. 415–454. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_13
21. Chimonas G. and Hines C. O. Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse. *J. Geophys. Res.* 1970. Vol. 75, Is. 4. P. 875. DOI: 10.1029/JA075i004p00875
22. Davis M. J. and da Rosa A. V. Possible Detection of Atmospheric Gravity Waves generated by the Solar Eclipse. *Nature*. 1970. Vol. 226, No. 5251. P. 1123. DOI: 10.1038/2261123a0
23. Ichinose T. and Ogawa T. Internal gravity waves deduced from the HF Doppler data during the April 19, 1958, solar eclipse. *J. Geophys. Res.* 1976. Vol. 81, Is. 13. P. 2401–2404. DOI: 10.1029/JA081i013p02401
24. Broche P., Crochet M., and de Maistre J. C. Gravity waves generated by the 30 June 1973 solar eclipse in Africa. *J. Atmos. Terr. Phys.* 1976. Vol. 38, Is. 12. P. 1361–1364. DOI: 10.1016/0021-9169(76)90147-1
25. Bertin F., Hughes K. A., and Kersley L. Atmospheric waves induced by the solar eclipse of 30 June 1973. *J. Atmos. Terr. Phys.* 1977. Vol. 39, Is. 4. P. 457–461. DOI: 10.1016/0021-9169(77)90153-2
26. Jones T. B., Wright D. M., Milner J., Yeoman T. K., Reid T., Chapman P. J., and Senior A. The detection of atmospheric waves produced by the total solar eclipse of 11 August 1999. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2004. Vol. 66, Is. 5. P. 363–374. DOI: 10.1016/j.jastp.2004.01.029
27. Butcher E. C., Downing A. M., and Cole K. D. Wavelike variations in the F-region in the path of totality of the eclipse of 23 October 1976. *J. Atmos. Terr. Phys.* 1979. Vol. 41, Is. 5. P. 439–444. DOI: 10.1016/0021-9169(79)90068-0
28. Черногор Л. Ф. Вариации амплитуды и фазы ОНЧ радиоволн в ионосфере в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. *Геомагнетизм и аэронаука*. 2010. Т. 50, № 1. С. 100–110.
29. Черногор Л. Ф. Волновой отклик ионосферы на частное солнечное затмение 1 августа 2008 г. *Геомагнетизм и аэронаука*. 2010. Т. 50, № 3. С. 361–376.
30. Черногор Л. Ф. Эффекты солнечных затмений в ионосфере: результаты доплеровского зондирования. 1. Экспериментальные данные. *Геомагнетизм и аэронаука*. 2012. Т. 52, № 6. С. 807–817.
31. Черногор Л. Ф. Эффекты солнечных затмений в ионосфере: результаты доплеровского зондирования. 2. Спектральный анализ. *Геомагнетизм и аэронаука*. 2012. Т. 52, № 6. С. 818–831.
32. Бурмака В. П., Черногор Л. Ф. Солнечное затмение 1 августа 2008 г. над Харьковом. 2. Результаты наблюдений волновых возмущений в ионосфере. *Геомагнетизм и аэронаука*. 2013. Т. 53, № 4. С. 509–521.
33. Черногор Л. Ф. Физические процессы в средней ионосфере, сопровождавшие солнечное затмение в Харькове 4 января 2011 г. *Геомагнетизм и аэронаука*. 2013. Т. 53, № 1. С. 22–34.
34. Черногор Л. Ф. *Физические эффекты солнечных затмений в атмосфере и геокосмосе: монография*. Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2013. 480 с.
35. Пушин В. Ф., Черногор Л. Ф. Инфразвуковой эффект солнечных затмений. *Радиофизика і радіоастрономія*. 2013. Т. 18, № 2. С. 127–137.
36. Черногор Л. Ф., Гармаш К. П. Магнито-ионосферные эффекты солнечного затмения 20 марта 2015 г. над Харьковом. *Геомагнетизм и аэронаука*. 2017. Т. 57, № 1. С. 79–90.
37. Stankov S. M., Bergeot N., Berghmans D., Bolsée D., Bruyninx C., Chevalier J.-M., Clette F., De Backer H., De Keyser J., D’Huys E., Dominique M., Lemaire J. F., Magdalenic J., Marqué C., Pereira N., Pierrard V., Sapundjiev D., Seaton D. B., Stegen K., Van der Linden R., Verhulst T. G. W., and West M. J. Multi-instrument observations of the solar eclipse on 20 March 2015 and its effects on the ionosphere over Belgium and Europe. *J. Space Weather Space Clim.* 2017. Vol. 7. id. A19. DOI: 10.1051/swsc/2017017
38. Nykiel G., Zanimonskiy Y. M., Yampolski Y. M., and Figurski M. Efficient Usage of Dense GNSS Networks in Central Europe for the Visualization and Investigation of Ionospheric TEC Variations. *Sensors*. 2017. Vol. 17, Is. 10. id. 2298. DOI: 10.3390/s17102298
39. Mošna Z., Boška J., Knižová P. K., Šindelářová T., Kouba D., Chum J., Rejček L., Potužníková K., Arıkan F., and Toker C. Observation of the solar eclipse of 20 March 2015 at the Pruhonice station. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2018. Vol. 171. P. 277–284. DOI: 10.1016/j.jastp.2017.07.011

40. Panasenko S. V., Otsuka Y., van de Kamp M., Chernogor L. F., Shinbori A., Tsugawa T., and Nishioka M. Observation and characterization of traveling ionospheric disturbances induced by solar eclipse of 20 March 2015 using incoherent scatter radars and GPS networks. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2019. Vol. 191. id. 105051. DOI: 10.1016/j.jastp.2019.05.015
41. Guo Q., Chernogor L. F., Garmash K. P., Rozumenko V. T., and Zheng Y. Radio Monitoring of Dynamic Processes in the Ionosphere Over China During the Partial Solar Eclipse of 11 August 2018. *Radio Sci.* 2020. Vol. 55, Is. 2. id. e2019RS006866. DOI: 10.1029/2019RS006866
42. Сомиков В. М. *Солнечный терминатор и динамика атмосферы*. Алма-Ата: Наука, 1983. 192 с.
43. Сомиков В. М. Волны в атмосфере, обусловленные солнечным, терминатором. Обзор. *Геомагнетизм и аэрономия*. 1991. Т. 31, № 1, С. 1–12.
44. Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Волновые возмущения в ионосфере, сопутствовавшие стартам ракет на фоне естественных переходных процессов. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2004. Т. 44, № 4. С. 518–34.
45. Черногор Л. Ф., Шамота М. А. Геомагнитные пульсации вблизи г. Харькова, сопутствовавшие прохождению солнечного терминатора. 1. Результаты спектрального анализа. *Космічна наука і технологія*. 2009. Т. 15, № 5. С. 43–51. DOI: 10.15407/knit2009.05.043
46. Черногор Л. Ф., Шамота М. А. Геомагнитные пульсации вблизи г. Харькова, сопутствовавшие прохождению солнечного терминатора. 2. Результаты статистического анализа. *Космічна наука і технологія*. 2009. Т. 15, № 6. С. 14–19. DOI: 10.15407/knit2009.06.014
47. Черногор Л. Ф. Геомагнитные пульсации, сопутствовавшие движению солнечного терминатора через магнитосопряженную область. *Радіофізика і радіоастрономія*. 2012. Т. 17, № 1. С. 57–66.
48. Соловьев С. П., Рыбнов Ю. С., Харламов В. А. Синхронные возмущения акустического и электрического полей, вызванные источниками природного и техногенного происхождения. *Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы третьего Всероссийского семинара-совещания*. Под ред. В. В. Адушкина, Г. Г. Кочеряна. ИДГ РАН. Москва: ГЕОС, 2015. С. 317–326.
49. Черногор Л. Ф. Тропический циклон как элемент системы Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера. *Космічна наука і технологія*. 2006. Т. 12, № 2-3. С. 16–36. DOI: 10.15407/knit2006.02.016
50. Hetzer C. H., Waxler R., Gilbert K. E., Talmadge C. L., and Bass H. E. Infrasound from hurricanes: Dependence on the ambient ocean surface wave field. *Geophys. Res. Lett.* 2008. Vol. 35, Is. 14. id. L14609. DOI: 10.1029/2008GL034614
51. Hetzer C. H., Gilbert K. E., Waxler R., and Talmadge C. L. Generation of Microbaroms by Deep-Ocean Hurricanes. In: A. Le Pichon, E. Blanc, and A. Hauchecorne, eds. *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*. Dordrecht: Springer, 2010. P. 249–262. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_8
52. Nishioka M., Tsugawa T., Kubota M., and Ishii M. Concentric waves and short-period oscillations observed in the ionosphere after the 2013 Moore EF5 tornado. *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40, Is. 21. P. 5581–5586. DOI: 10.1002/2013GL057963
53. Chou M.-Y., Lin C. C. H., Yue J., Chang L. C., Tsai H.-F., and Chen C.-H. Medium-scale traveling ionospheric disturbances triggered by Super Typhoon Nepartak (2016). *Geophys. Res. Lett.* 2017. Vol. 44, Is. 15. P. 7569–7577. DOI: 10.1002/2017GL073961
54. Спивак А. А., Рыбнов Ю. С., Харламов В. А. Вариации геофизических полей при ураганах и шквалах. *Доклады академии наук*. 2018. Т. 480, № 5. С. 592–595. DOI: 10.7868/S08695652
55. Richards A. F. Volcanic sounds: Investigation and analysis. *J. Geophys. Res.* 1963. Vol. 68, Is. 3. P. 919–928. DOI: 10.1029/JZ068i003p00919
56. Goerke V. H., Young J. M., and Cook R. K. Infrasonic observations of the May 16, 1963, volcanic explosion on the island of Bali. *J. Geophys. Res.* 1965. Vol. 70, Is. 24. P. 6017–6022. DOI: 10.1029/JZ070i024p06017
57. Bolt B. A. and Tanimoto T. Atmospheric oscillations after the May 18, 1980 eruption of Mount St. Helens. *Eos*. 1981. Vol. 62, Is. 23. P. 529–530. DOI: 10.1029/E0062i023p00529
58. Kieffer S. W. Blast dynamics at Mount St Helens on 18 May 1980. *Nature*. 1981. Vol. 291, No. 5816. P. 568–570. DOI: 10.1038/291568a0
59. Banister J. R. Pressure wave generated by the Mount St. Helens eruption. *J. Geophys. Res.* 1984. Vol. 89, Is. D3. P. 4895–4904. DOI: 10.1029/JD089iD03p04895
60. Reed J. W. Air pressure waves from Mount St. Helens eruptions. *J. Geophys. Res.* 1987. Vol. 92, Is. D10. P. 11979–11992. DOI: 10.1029/JD092iD10p11979
61. Yamasato H. Quantitative Analysis of Pyroclastic Flows Using Infrasonic and Seismic Data at Unzen Volcano, Japan. *J. Phys. Earth*. 1997. Vol. 45, Is. 6. P. 397–416. DOI: 10.4294/jpe1952.45.397
62. Ripepe M., Ciliberto S., and Della Schiava M. Time constraints for modeling source dynamics of volcanic explosions at Stromboli. *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 2001. Vol. 106, Is. B5. P. 8713–8727. DOI: 10.1029/2000JB900374
63. Ripepe M., Harris A. J. L., and Carniel R. Thermal, seismic and infrasonic evidences of variable degassing rates at Stromboli volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2002. Vol. 118, Is. 3-4. P. 285–297. DOI: 10.1016/S0377-0273(02)00298-6
64. Evers L. G. and Haak H. W. The detectability of infrasound in The Netherlands from the Italian volcano Mt. Etna. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2005. Vol. 67, Is. 3. P. 259–268. DOI: 10.1016/j.jastp.2004.09.002
65. Черногор Л. Ф. *Физика и экология катастроф: монография*. Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. 556 с.
66. Daniels F. B. Generation of Infrasound by Ocean Waves. *J. Acoust. Soc. Am.* 1962. Vol. 34, Is. 3. P. 352–353. DOI: 10.1121/1.1928128
67. Donn W. L. and Posmentier E. S. Infrasonic waves from the marine storm of April 7, 1966. *J. Geophys. Res.* 1967. Vol. 72, Is. 8. P. 2053–2061. DOI: 10.1029/JZ072i008p02053
68. Бреховских Л. М., Гончаров В. В., Куртепов В. М., Наугольных К. А. К вопросу об излучении инфразвука в атмосферу поверхностными волнами в океане. *Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана*. 1973. Т. 9, № 9. С. 899–907.

69. Arendt S. and Fritts D. C. Acoustic radiation by ocean surface waves. *J. Fluid Mech.* 2000. Vol. 415. P. 1–21. DOI: 10.1017/S0022112000008636
70. Garcés M., Willis M., Hetzer C., Le Pichon A., and Drob D. On using ocean swells for continuous infrasonic measurements of winds and temperature in the lower, middle, and upper atmosphere. *Geophys. Res. Lett.* 2004. Vol. 31, Is. 19. id. L19304. DOI: 10.1029/2004GL020696
71. Le Pichon A., Maurer V., Raymond D., and Hyvernaud O. Infrasonic from ocean waves observed in Tahiti. *Geophys. Res. Lett.* 2004. Vol. 31, Is. 19. id. L19103. DOI: 10.1029/2004GL020676
72. Waxler R. and Gilbert K. E. The radiation of atmospheric microbaroms by ocean waves. *J. Acoust. Soc. Am.* 2006. Vol. 119, Is. 5. P. 2651–2664. DOI: 10.1121/1.2191607
73. Garcés M., Willis M., and Le Pichon A. Infrasonic Observations of Open Ocean Swells in the Pacific: Deciphering the Song of the Sea. In: A. Le Pichon, E. Blanc, and A. Hauchecorne, eds. *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*. Dordrecht: Springer, 2010. P. 235–248. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_7
74. Hetzer C. H., Gilbert K. E., Waxler R., and Talmadge C. L. Generation of Microbaroms by Deep-Ocean Hurricanes. In: A. Le Pichon, E. Blanc, and A. Hauchecorne, eds. *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*. Dordrecht: Springer, 2010. P. 249–262. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_8
75. Гостинцев Ю. А., Иванов Е. А., Копылов Н. П., Шацких Ю. В. Волновые возмущения атмосферы при больших пожарах. *Физика горения и взрыва*. 1983. Т. 19, № 4. С. 62–64.
76. Спивак А. А., Рябова С. А., Харламов В. А. Электрическое поле в приземной атмосфере московского мегаполиса. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2019. Т. 59, № 4. С. 501–513. DOI: 10.1134/S0016794019040163
77. Donn W. L. and Posmentier E. S. Ground-coupled air waves from the Great Alaskan Earthquake. *J. Geophys. Res.* 1964. Vol. 69, Is. 24. P. 5357–5361. DOI: 10.1029/JZ069i024p05357
78. Bowman G. G. and Shrestha K. L. Atmospheric pressure waves from the Japanese earthquake on 16 June 1964. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 1965. Vol. 91, Is. 388. P. 223–224. DOI: 10.1002/qj.49709138813
79. Davies K. and Baker D. M. Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.* 1965. Vol. 70, Is. 9. P. 2251–2253. DOI: 10.1029/JZ070i009p02251
80. Row R. V. Evidence of long-period acoustic-gravity waves launched into the F region by the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.* 1966. Vol. 71, Is. 1. P. 343–345. DOI: 10.1029/JZ071i001p00343
81. Mikumo T. Atmospheric pressure waves and tectonic deformation associated with the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.* 1968. Vol. 73, Is. 6. P. 2009–2025. DOI: 10.1029/JB073i006p02009
82. Cook R. K. and Bedard A. J., Jr. On the Measurement of Infrasound. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 1971. Vol. 26, Is. 1–4. P. 5–11. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1971.tb03378.x
83. Young J. M. and Greene G. E. Anomalous infrasound generated by the Alaskan earthquake of 28 March 1964. *J. Acoust. Soc. Am.* 1982. Vol. 71, Is. 2. P. 334–339. DOI: 10.1121/1.387457
84. Kelley M. C., Livingston R., and McCready M. Large amplitude thermospheric oscillations induced by an earthquake. *Geophys. Res. Lett.* 1985. Vol. 12, Is. 9. P. 577–580. DOI: 10.1029/GL012i009p00577
85. Olson J. V., Wilson C. R., and Hansen R. A. Infrasound associated with the 2002 Denali fault earthquake, Alaska. *Geophys. Res. Lett.* 2003. Vol. 30, Is. 23. id. 2195. DOI: 10.1029/2003GL018568
86. Garcés M., Caron P., Hetzer C., Le Pichon A., Bass H., Drob D., and Bhattacharyya J. Deep infrasound radiated by the Sumatra earthquake and tsunami. *Eos*. 2005. Vol. 86, Is. 35. P. 317–320. DOI: 10.1029/2005EO350002
87. Le Pichon A., Herry P., Mialle P., Vergoz J., Brachet N., Garcés M., Drob D., and Ceranna L. Infrasound associated with 2004–2005 large Sumatra earthquakes and tsunami. *Geophys. Res. Lett.* 2005. Vol. 32, Is. 19. id. L19802. DOI: 10.1029/2005GL023893
88. Mutschlecner J. P. and Whitaker R. W. Infrasound from earthquakes. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2005. Vol. 110, Is. D1. id. D01108. DOI: 10.1029/2004JD005067
89. Mikumo T., Shibutani T., Le Pichon A., Garcés M., Fee D., Tsuyuki T., Watada S., and Morii W. Low-frequency acoustic-gravity waves from coseismic vertical deformation associated with the 2004 Sumatra-Andaman earthquake ( $M_w=9.2$ ). *J. Geophys. Res. Solid Earth*. 2008. Vol. 113, Is. B12. id. B12402. DOI: 10.1029/2008JB005710
90. Guo Q., Chernogor L. F., Garmash K. P., Rozumenko V. T., and Zheng Yu. Dynamical processes in the ionosphere following the moderate earthquake in Japan on 7 July 2018. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2019. Vol. 186. P. 88–103. DOI: 10.1016/j.jastp.2019.02.003
91. Luo Y., Guo Q., Zheng Y., Гармаш К. П., Черногор Л. Ф., Шульга С. Н. Вариации характеристик радиоволн ВЧ диапазона над Китаем, сопровождавшие умеренное землетрясение в Японии 5 сентября 2018 г. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка*. 2019. Вып. 30. С. 16–26. DOI: 10.26565/2311-0872-2019-30-02
92. Luo Y., Черногор Л. Ф., Гармаш К. П., Guo Q., Zheng Yu. Сейсмо-ионосферні ефекти: результати похилого радіозондування іоносфери. *Радіофізика і радіоастрономія*. 2020. Т. 25, № 3. С. 218–230. DOI: 10.15407/rpra25.03.218
93. Garcés M., Caron P., Hetzer C., Le Pichon A., Bass H., Drob D., and Bhattacharyya J. Deep infrasound radiated by the Sumatra earthquake and tsunami. *Eos*. 2005. Vol. 86, Is. 35. P. 317–320. DOI: 10.1029/2005EO350002
94. Balachandran N. K. Infrasonic signals from thunder. *J. Geophys. Res. Oceans*. 1979. Vol. 84, Is. C4. P. 1735–1745. DOI: 10.1029/JC084iC04p01735
95. Balachandran N. K. Acoustic and electric signals from lightning. *J. Geophys. Res. Oceans*. 1983. Vol. 88, Is. C6. P. 3879–3884. DOI: 10.1029/JC088iC06p03879
96. Farges T., Blanc E., Le Pichon A., Neubert T., and Allin T. H. Identification of infrasound produced by sprites during the Sprite2003 campaign. *Geophys. Res. Lett.* 2005. Vol. 32, Is. 1. id. L01813. DOI: 10.1029/2004GL021212
97. Lin T.-L. and Langston C. A. Infrasound from thunder: A natural seismic source. *Geophys. Res. Lett.* 2007. Vol. 34, Is. 14. id. L14304. DOI: 10.1029/2007GL030404

98. Farges T. and Blanc E. Characteristics of infrasound from lightning and sprites near thunderstorm areas. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 2010. Vol. 115, Is. A6. id. A00E31. DOI: 10.1029/2009JA014700
99. Blanc E., Farges T., Le Pichon A., and Heinrich P. Ten year observations of gravity waves from thunderstorms in western Africa. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2014. Vol. 119, Is. 11. P. 6409–6418. DOI: 10.1002/2013JD020499
100. Спивак А. А., Рыбнов Ю. С., Соловьев С. П., Харламов В. А. Акустические и электрические предвестники сильных грозовых явлений в условиях мегаполиса. *Геофизические процессы и биосфера*. 2017. Т. 16, № 4. С. 81–91. DOI: 10.21455/GPB2017.4-7
101. Rose G., Oksman J., and Kataja E. Round-the-World Sound Waves produced by the Nuclear Explosion on October 30, 1961, and their Effect on the Ionosphere at Sodankylä. *Nature*. 1961. Vol. 192, No. 4808. P. 1173–1174.
102. Donn W. L. and Ewing M. Atmospheric waves from nuclear explosions. *J. Geophys. Res.* 1962. Vol. 67, Is. 5. P. 1855–1866. DOI: 10.1029/JZ067i005p01855
103. Donn W. L. and Ewing M. Atmospheric Waves from Nuclear Explosions – Part II: The Soviet Test of 30 October 1961. *J. Atmos. Sci.* 1962. Vol. 19, Is. 3. P. 264–273. DOI: 10.1175/1520-0469(1962)019%3C0264:AWFNEI%3E2.0.CO;2
104. Farkas E. Transit of Pressure Waves through New Zealand from the Soviet 50 Megaton Bomb Explosion. *Nature*. 1962. Vol. 193, No. 4817. P. 765–766. DOI: 10.1038/193765a0
105. Gardiner G. W. Effects of the nuclear explosion of 30 October 1961. *J. Atmos. Terr. Phys.* 1962. Vol. 24, Is. 11. P. 990–993. DOI: 10.1016/0021-9169(62)90146-0
106. Pfeffer R. L. and Zarichny J. Acoustic-Gravity Wave Propagation from Nuclear Explosions in the Earth's Atmosphere. *J. Atmos. Sci.* 1962. Vol. 19, Is. 3. P. 256–263. DOI: 10.1175/1520-0469(1962)019%3C0256:AGWPFN%3E2.0.CO;2
107. Wexler H. and Hass W. A. Global atmospheric pressure effects of the October 30, 1961, explosion. *J. Geophys. Res.* 1962. Vol. 67, Is. 10. P. 3875–3887. DOI: 10.1029/JZ067i010p03875
108. Donn W. L., Pfeffer R. L., and Ewing M. Propagation of Air Waves from Nuclear Explosions: Nuclear explosions provide data on the relation of air-wave propagation to atmospheric structure. *Science*. 1963. Vol. 139, Is. 3552. P. 307–317. DOI: 10.1126/science.139.3552.307
109. Webb H. D. and Daniels F. B. Ionospheric oscillations following a nuclear explosion. *J. Geophys. Res.* 1964. Vol. 69, Is. 3. P. 545–546. DOI: 10.1029/JZ069i003p00545
110. Oksman J. and Kivinen M. Ionospheric gravity waves caused by nuclear explosions. *Geophysica*. 1965. Vol. 9. P. 119–129.
111. McCrory R. A. Atmospheric Pressure Waves from Nuclear Explosions. *J. Atmos. Sci.* 1967. Vol. 24, Is. 4. P. 443–447. DOI: 10.1175/1520-0469(1967)024%3C0443:APWFNE%3E2.0.CO;2
112. Row R. V. Acoustic-gravity waves in the upper atmosphere due to a nuclear detonation and an earthquake. *J. Geophys. Res.* 1967. Vol. 72, Is. 5. P. 1599–1610. DOI: 10.1029/JZ072i005p01599
113. Che I.-Y., Park J., Kim I., Kim T. S., and Lee H.-I. Infrasound signals from the underground nuclear explosions of North Korea. *Geophys. J. Int.* 2014. Vol. 198, Is. 1. P. 495–503. DOI: 10.1093/gji/ggu150
114. Куличков С. Н. Дальнее распространение звука в атмосфере (Обзор). *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 1992. Т. 28, № 4. С. 339–360.
115. Буш Г. А., Иванов Е. А., Куличков С. Н., Педанов М. В. Об опыте регистрации акустических сигналов от высотных взрывов. *Известия АН. Физика атмосферы и океана*. 1997. Т. 33, № 1. С. 67–71.
116. Calais E., Minster J. B., Hofton M. A., and Hedlin M. A. N. Ionospheric signature of surface mine blasts from Global Positioning System measurements. *Geophys. J. Int.* 1998. Vol. 132, Is. 1. P. 191–202. DOI: 10.1046/j.1365-246x.1998.00438.x
117. Черногор Л. Ф. Геофизические эффекты и геоэкологические последствия массовых химических взрывов на военных складах в г. Артемовске. *Геофизический журнал*. 2004. Т. 26, № 4. С. 31–44.
118. Черногор Л. Ф. Геофизические эффекты и экологические последствия пожара и взрывов на военной базе вблизи г. Мелитополь. *Геофизический журнал*. 2004. Т. 26, № 6. С. 61–73.
119. Gibbons S. J., Ringdal F., and Kværna T. Joint seismic-infrasound processing of recordings from a repeating source of atmospheric explosions. *J. Acoust. Soc. Am.* 2007. Vol. 122, Is. 5. id. EL158. DOI: 10.1121/1.2784533
120. Черногор Л. Ф., Гармаш К. П. Магнито-ионосферные эффекты, сопровождавшие сильнейшую техногенную катастрофу. *Геомагнетизм и аэронавигация*. 2018. Т. 58, № 5. С. 700–712. DOI: 10.1134/S0016794018050036
121. Черногор Л. Ф., Лящук А. И., Шевелев Н. Б. Параметры инфразвуковых сигналов в атмосфере, сгенерированных массовыми взрывами на арсенале боеприпасов. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2018. Т. 23, № 4. С. 280–293. DOI: 10.15407/rpra23.04.280
122. Donn W. L., Posmentier E., Fehr U., and Balachandran N. K. Infrasound at Long Range from Saturn V, 1967. *Science*. 1968. Vol. 162, Is. 3858. P. 1116–1120. DOI: 10.1126/science.162.3858.1116
123. Kaschak G. R. Long-range supersonic propagation of infrasonic noise generated by missiles. *J. Geophys. Res.* 1969. Vol. 74, Is. 3. P. 914–918. DOI: 10.1029/JA074i003p00914
124. Balachandran N. K., Donn W. L., and Kaschak G. On the Propagation of Infrasound from Rockets: Effects of Winds. *J. Acoust. Soc. Am.* 1971. Vol. 50, Is. 2A. P. 397–404. DOI: 10.1121/1.1912649
125. Cotten D. and Donn W. L. Sound from Apollo Rockets in Space. *Science*. 1971. Vol. 171, Is. 3971. P. 565–567. DOI: 10.1126/science.171.3971.565
126. Donn W. L., Balachandran N. K., and Rind D. Tidal wind control of long-range rocket infrasound. *J. Geophys. Res.* 1975. Vol. 80, Is. 12. P. 1662–1664. DOI: 10.1029/JC080i012p01662
127. Noble S. T. A large-amplitude traveling ionospheric disturbance excited by the space shuttle during launch. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 1990. Vol. 95, Is. A11. P. 19037–19044. DOI: 10.1029/JA095iA11p19037
128. Li Y. Q., Jacobson A. R., Carlos R. C., Massey R. S., Taranenko Y. N., and Wu G. The blast wave of the Shuttle plume at ionospheric heights. *Geophys. Res. Lett.* 1994. Vol. 21, Is. 24. P. 2737–2740. DOI: 10.1029/94GL02548
129. Черногор Л. Ф. *Радиофизические и геомагнитные эффекты стартов ракет: монография*. Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. 386 с.

130. Chernogor L. F. and Blaunstein N. *Radiophysical and Geomagnetic Effects of Rocket Burn and Launch in the Near-the-Earth Environment*. Boca Raton, London, New York: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2014. 542 p.
131. Kakinami Y., Yamamoto M., Chen C.-H., Watanabe S., Lin C., Liu J.-Y., and Habu H. Ionospheric disturbances induced by a missile launched from North Korea on 12 December 2012. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 2013. Vol. 118, Is. 8. P. 5184–5189. DOI: 10.1002/jgra.50508
132. Lin C. H., Lin J. T., Chen C. H., Liu J. Y., Sun Y. Y., Kakinami Y., Matsumura M., Chen W. H., Liu H., and Rau R. J. Ionospheric shock waves triggered by rockets. *Ann. Geophys.* 2014. Vol. 32, Is. 9. P. 1145–1152. DOI: 10.5194/angeo-32-1145-2014
133. Ding F., Wan W., Mao T., Wang M., Ning B., Zhao B., and Xiong B. Ionospheric response to the shock and acoustic waves excited by the launch of the Shenzhou 10 spacecraft. *Geophys. Res. Lett.* 2014. Vol. 41, Is. 10. P. 3351–3358. DOI: 10.1002/2014GL060107
134. Lin C. C. H., Shen M.-H., Chou M.-Y., Chen C.-H., Yue J., Chen P.-C., and Matsumura M. Concentric traveling ionospheric disturbances triggered by the launch of a SpaceX Falcon 9 rocket. *Geophys. Res. Lett.* 2017. Vol. 44, Is. 15. P. 7578–7586. DOI: 10.1002/2017GL074192
135. Chou M.-Y., Shen M.-H., Lin C. C. H., Yue J., Chen C.-H., Liu J.-Y., and Lin J.-T. Gigantic Circular Shock Acoustic Waves in the Ionosphere Triggered by the Launch of FORMOSAT-5 Satellite. *Space Weather*. 2018. Vol. 16, Is. 2. P. 172–184. DOI: 10.1002/2017SW001738
136. Chou M.-Y., Lin C. C. H., Shen M.-H., Yue J., Huba J. D., and Chen C.-H. Ionospheric Disturbances Triggered by SpaceX Falcon Heavy. *Geophys. Res. Lett.* 2018. Vol. 45, Is. 13. P. 6334–6342. DOI: 10.1029/2018GL078088
137. Гармаш К. П., Черногор Л. Ф. Эффекты в околоземной плазме, стимулированные воздействием мощного радиоизлучения. *Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники*. 1998. № 6. С. 17–40.
138. Гармаш К. П., Черногор Л. Ф. Электромагнитные и геофизические эффекты в околоземной плазме, стимулированные воздействием мощного радиоизлучения. *Электромагнитные явления*. 1998. Т. 1, № 1. С. 90–110.
139. Бурмака В. П., Домнин И. Ф., Урядов В. П., Черногор Л. Ф. Вариации параметров рассеянных сигналов и ионосферы, сопутствовавшие воздействию на плазму мощным радиоизлучением. *Известия вузов. Радиофизика*. 2009. Т. 52, № 11. С. 859–880.
140. Черногор Л. Ф., Вертоградов Г. Г., Урядов В. П., Вертоградова Е. Г., Шамота М. А. Согласованные квазипериодические вариации уровня геомагнитных пульсаций и доплеровского смещения частоты ракурсно-рассеянных искусственными ионосферными неоднородностями радиоволн декаметрового диапазона. *Изв. вузов. Радиофизика*. 2010. Т. 53, № 12. С. 766–785.
141. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л., Комраков Г. П., Пушин В. Ф. Вариации спектра ионосферных волновых возмущений при периодическом нагреве плазмы мощным высокочастотным радиоизлучением. *Изв. вузов. Радиофизика*. 2011. Т. 54, № 2. С. 81–96.
142. Домнин И. Ф., Панасенко С. В., Урядов В. П., Черногор Л. Ф. Результаты радиофизических исследований волновых процессов в ионосферной плазме в период ее нагрева мощным радиоизлучением стенда “Сура”. *Изв. вузов. Радиофизика*. 2012. Т. 55, № 4. С. 280–293.
143. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л. Перемещающиеся ионосферные возмущения, генерируемые периодическим нагревом плазмы мощным высокочастотным радиоизлучением. *Изв. вузов. Радиофизика*. 2012. Т. 55, № 1-2. С. 14–35.
144. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л., Пушин В. Ф. Колебания инфразвукового диапазона в ионосфере при воздействии на нее мощным радиоизлучением. *Изв. вузов. Радиофизика*. 2012. Т. 55, № 5. С. 327–340.
145. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л. Особенности распространения акустико-гравитационных волн, генерируемых мощным периодическим радиоизлучением. *Изв. вузов. Радиофизика*. 2013. Т. 56, № 4. С. 219–239.
146. Черногор Л. Ф., Фролов В. Л. Вариации уровня и спектра геомагнитных пульсаций, сопровождавшие воздействие на ионосферу мощным радиоизлучением стенда “Сура”. *Изв. вузов. Радиофизика*. 2014. Т. 57, № 5. С. 378–399.
147. Черногор Л. Ф. *Физика мощного радиоизлучения в геокосмосе: монография*. Харьков: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2014. 448 с.
148. Черногор Л. Ф., Панасенко С. В., Фролов В. Л., Домнин И. Ф. Наблюдения волновых возмущений в ионосфере на харьковском радаре некогерентного рассеяния при воздействии на околоземную плазму мощным радиоизлучением. *Изв. вузов. Радиофизика*. 2015. Т. 58, № 2. С. 85–99.
149. Черногор Л. Ф., Гармаш К. П., Фролов В. Л. Крупномасштабные возмущения в нижней и средней ионосфере, сопровождавшие воздействие на нее радиоизлучением стенда “Сура”. *Известия вузов. Радиофизика*. 2019. Т. 62, № 6. С. 440–459.
150. Balachandran N. K., Donn W. L., and Rind D. H. Concorde Sonic Booms as an Atmospheric Probe. *Science*. 1977. Vol. 197, Is. 4298. P. 47–49. DOI: 10.1126/science.197.4298.47
151. Donn W. L. Exploring the Atmosphere with Sonic Booms: Or How I Learned to Love the Concorde. *Am. Sci.* 1978. Vol. 66, Is. 6. P. 724–733.
152. Donn W. L. and Rind D. Monitoring Stratospheric Winds with Concorde-Generated Infrasound. *J. Appl. Meteor.* 1979. Vol. 18, Is. 7. P. 945–952. DOI: 10.1175/1520-0450(1979)018%3C0945:MSWWCG%3E2.0.CO;2
153. Афанасьева Н. А., Пляцук Л. Д., Филагов Л. Г., Трунова И. А. Импульсный инфразвуковой сигнал, производимый ветроэнергетической установкой. Принципы оценки. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Т. 6, № 10(72). С. 13–19. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.30979
154. Спивак А. А., Локтев Д. Н., Рыбнов Ю. С., Соловьев С. П., Харламов В. А. Геофизические поля мегаполиса. *Геофизические процессы и биосфера*. 2016. Т. 15, № 2. С. 39–54.
155. Черногор Л. Ф. Электрический и магнитный эффекты инфразвука в атмосфере. *Глобальная электрическая цепь: материалы третьей Всероссийской конференции*. Геофизическая обсерватория “Борок” – филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН. Ярославль: Филигрань, 2017. С. 11–12.
156. Kanamori H., Mori J., Anderson D. L., and Heaton T. H. Seismic excitation by the space shuttle Columbia.

- Nature*. 1991. Vol. 349, No. 6312. P. 781–782. DOI: 10.1038/349781a0
157. Ямпольский Ю. М., Зализовский А. В., Литвиненко Л. Н., Лизунов Г. В., Гровс К., Молдвин М. Вариации магнитного поля в Антарктике и сопряженном регионе (Новая Англия), стимулированные циклонической активностью. *Радиофізика і радіоастрономія*. 2004. Т. 9, № 2. С. 130–152.
  158. Чекрыжов В. М., Свиркунов П. Н., Козлов С. В. Влияние циклонической активности на возмущение геомагнитного поля. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2019. Т. 59, № 1. С. 59–68. DOI: 10.1134/S0016794019010036
  159. Соловьев С. П., Рыбнов Ю. С., Харламов В. А. Синхронные возмущения акустического и электрического полей, вызванные источниками природного и техногенного происхождения. *Триггерные эффекты в геосистемах*. Тезисы докладов третьего Всероссийского семинара-совещания. Под ред. В. В. Адушкина, Г. Г. Кочеряна. ИДГ РАН. Москва: ГЕОС, 2015. С. 71.
  160. Сурков В. В. *Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах*. Москва: МИФИ, 2000. 448 с.
  161. Черногор Л. Ф. Физические эффекты Румынского метеороида. 2. *Космічна наука і технологія*. 2018. Т. 24, № 2. С. 18–35. DOI: 10.15407/knit2018.02.018
  162. Черногор Л. Ф. Физические эффекты Липецкого метеороида. 3. *Кінематика і фізика небесних тіл*. 2019. Т. 35, № 6. С. 34–61. DOI: 10.15407/kfnt2019.06.034
  163. Чалмерс Дж. А. *Атмосферное электричество*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 421 с.
  - A global statistical study. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* vol. 80, pp. 208–229. DOI: 10.1016/j.jastp.2012.01.018
  8. CHERNOGOR, L. F. and BARABASH, V. V., 2014. Ionosphere disturbances accompanying the flight of the Chelyabinsk body. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies*. vol. 30, is. 3, pp. 126–136. DOI: 10.3103/S0884591314030039
  9. CHERNOGOR, L. F., 2017. Chelyabinsk Meteoroid Acoustic Effects. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 22, no. 1, pp. 53–66. (in Russian). DOI: 10.15407/rpra22.01.053
  10. LAZORENKO, O. V. and CHERNOGOR, L. F., 2017. System Spectral Analysis of Infrasonic Signal Generated by Chelyabinsk Meteoroid. *Radioelectron. Commun. Syst.* vol. 60, is. 8, pp. 331–338. DOI: 10.3103/S0735272717080015
  11. CHERNOGOR, L. F. and LIASHCHUK, O. I., 2017. Parameters of Infrasonic Waves Generated by the Chelyabinsk Meteoroid on February 15, 2013. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies*. vol. 33, is. 2, pp. 79–87. DOI: 10.3103/S0884591317020027
  12. CHERNOGOR, L. F. and SHEVELEV, N. B., 2018. Characteristics of the Infrasonic Signal Generated by Chelyabinsk Celestial Body: Global Statistics. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 23, no. 1, pp. 24–35. (in Russian). DOI: 10.15407/rpra23.01.024
  13. CHERNOGOR, L. F., 2020. Statistical Analysis of Infrasonic Parameters Generated by the Chelyabinsk Meteoroid. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies*. vol. 36, is. 4, pp. 171–185. DOI: 10.3103/S0884591320040029
  14. CAMPBELL, W. H. and YOUNG, J. M., 1963. Auroral-zone observations of infrasonic pressure waves related to ionospheric disturbances and geomagnetic activity. *J. Geophys. Res.* vol. 68, is. 21, pp. 5909–5916. DOI: 10.1029/JZ068i021p05909
  15. MAEDA, K. and WATANABE, T., 1964. Pulsating Aurorae and Infrasonic Waves in the Polar Atmosphere. *J. Atmos. Sci.* vol. 21, is. 1, pp. 15–29. DOI: 10.1175/1520-0469(1964)021%3C0015:PAAIWI%3E2.0.CO;2
  16. CHIMONAS, G., 1970. Infrasonic waves generated by auroral currents. *Planet. Space Sci.* vol. 18, is. 4, pp. 591–598. DOI: 10.1016/0032-0633(70)90134-0
  17. ERUSHCHENKOV, A. I. and DOVBNYA, B. V., 1977. On the relationship between high frequency infrasonic and geomagnetic pulsations in the auroral zone. *Issledovaniya po geomagnetizmu, aeronomii i fizike Solntsa*. vol. 43, pp. 142–146. (in Russian).
  18. SUZUKI, Y., 1979. Auroral infrasonic waves and the auroral electrojet. *J. Atmos. Terr. Phys.* vol. 41, is. 1, pp. 11–23. DOI: 10.1016/0021-9169(79)90042-4
  19. SUZUKI, Y., 1979. Temporal and spatial changes of polar substorms and infrasonic wave emissions. *Planet. Space Sci.* vol. 27, is. 9, pp. 1195–1208. DOI: 10.1016/0032-0633(79)90139-9
  20. WILSON, C. R., SZUBERLA, C. A. L. and OLSON, J. V., 2010. High-latitude Observations of Infrasonic Signals from Alaska and Antarctica: Mountain Associated Waves and Geomagnetic/Auroral Infrasonic Signals. In: A. LE PICHON, E. BLANC, and A. HAUCHECORNE, eds. *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer Int. Publ. P. 415–454. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_13

21. CHIMONAS, G. and HINES, C. O., 1970. Atmospheric gravity waves induced by a solar eclipse. *J. Geophys. Res.* vol. 75, is. 4, p. 875. DOI: 10.1029/JA075i004p00875
22. DAVIS, M. J. and DA ROSA, A. V., 1970. Possible Detection of Atmospheric Gravity Waves generated by the Solar Eclipse. *Nature*. vol. 226, no. 5251, p. 1123. DOI: 10.1038/2261123a0
23. ICHINOSE, T. and OGAWA, T., 1976. Internal gravity waves deduced from the HF Doppler data during the April 19, 1958, solar eclipse. *J. Geophys. Res.* vol. 81, is. 13, pp. 2401–2404 DOI: 10.1029/JA081i013p02401
24. BROCHE, P., CROCHET, M. and DE MAISTRE, J. C., 1976. Gravity waves generated by the 30 June 1973 solar eclipse in Africa. *J. Atmos. Terr. Phys.* vol. 38, is. 12, pp. 1361–1364. DOI: 10.1016/0021-9169(76)90147-1
25. BERTIN, F., HUGHES, K. A. and KERSLEY, L., 1977. Atmospheric waves induced by the solar eclipse of 30 June 1973. *J. Atmos. Terr. Phys.* vol. 39, is. 4, pp. 457–461. DOI: 10.1016/0021-9169(77)90153-2
26. JONES, T. B., WRIGHT, D. M., MILNER, J., YEO-MAN, T. K., REID, T., CHAPMAN, P. J. and SENIOR, A., 2004. The detection of atmospheric waves produced by the total solar eclipse of 11 August 1999. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* vol. 66, is. 5, pp. 363–374. DOI: 10.1016/j.jastp.2004.01.029
27. BUTCHER, E. C., DOWNING, A. M. and Cole, K. D., 1979. Wavelike variations in the F-region in the path of totality of the eclipse of 23 October 1976. *J. Atmos. Terr. Phys.* vol. 41, is. 5, pp. 439–444. DOI: 10.1016/0021-9169(79)90068-0
28. CHERNOGOR, L. F., 2010. Variations in the Amplitude and Phase of VLF Radiowaves in the Ionosphere during the August 1, 2008, Solar Eclipse. *Geomagn. Aeron.* vol. 50, is. 1, pp. 96–106. DOI: 10.1134/S0016793210010111
29. CHERNOGOR, L. F., 2010. Wave Response of the Ionosphere to the Partial Solar Eclipse of August 1, 2008. *Geomagn. Aeron.* vol. 50, is. 3, pp. 346–361. DOI: 10.1134/S0016793210030096
30. CHERNOGOR, L. F., 2012. Effects of solar eclipses in the ionosphere: Results of Doppler sounding: 1. Experimental data. *Geomagn. Aeron.* vol. 52, is. 6, pp. 768–778. DOI: 10.1134/S0016793212050039
31. CHERNOGOR, L. F., 2012. Effects of Solar Eclipses in the Ionosphere: Doppler Sounding Results: 2. Spectral Analysis. *Geomagn. Aeron.* vol. 52, is. 6, pp. 779–792. DOI: 10.1134/S0016793212050040
32. BURMAKA, V. P. and CHERNOGOR, L. F., 2013. Solar Eclipse of August 1, 2008, above Kharkov: 2. Observation Results of Wave Disturbances in the Ionosphere. *Geomagn. Aeron.* vol. 53, is. 4, pp. 479–491. DOI: 10.1134/S001679321304004X
33. CHERNOGOR, L. F., 2013. Physical Processes in the Middle Ionosphere Accompanying the Solar Eclipse of January 4, 2011, in Kharkov. *Geomagn. Aeron.* vol. 53, is. 1, pp. 19–31. DOI: 10.1134/S0016793213010052
34. CHERNOGOR, L. F., 2013. *Physical effects of solar eclipses in atmosphere and geospace: monograph*. Kharkiv, Ukraine: V. N. Karazin Kharkiv National University Publ. (in Russian).
35. PUSHIN, V. F. and CHERNOGOR, L. F., 2013. Infrasonic effect of solar eclipses. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 18, no. 2, pp. 127–137. (in Russian).
36. CHERNOGOR, L. F. and GARMASH, K. P., 2017. Magneto-Ionospheric Effects of the Solar Eclipse of March 20, 2015, over Kharkov. *Geomagn. Aeron.* vol. 57, is. 1, pp. 72–83. DOI: 10.1134/S0016793216060062
37. STANKOV, S. M., BERGEOT, N., BERGHMANS, D., BOLSEÉ, D., BRUYNINX, C., CHEVALIER, J.-M., CLETTE, F., DE BACKER, H., DE KEYSER, J., D'HUYS, E., DOMINIQUE, M., LEMAIRE, J. F., MAGDALENIĆ, J., MARQUÉ, C., PEREIRA, N., PIER-RARD, V., SAPUNDJIEV, D., SEATON, D. B., STEGEN, K., VAN DER LINDEN, R., VERHULST, T. G. W. and WEST, M. J., 2017. Multi-instrument observations of the solar eclipse on 20 March 2015 and its effects on the ionosphere over Belgium and Europe. *J. Space Weather Space Clim.* vol. 7, id. A19 DOI: 10.1051/swsc/2017017
38. NYKIEL, G., ZANIMONSKIY, Y. M., YAMPOLSKI, Y. M. and FIGURSKI, M., 2017. Efficient Usage of Dense GNSS Networks in Central Europe for the Visualization and Investigation of Ionospheric TEC Variations. *Sensors*. vol. 17, is. 10, id. 2298. DOI: 10.3390/s17102298
39. MOŠNA, Z., BOŠKA, J., KNÍŽOVÁ, P. K., ŠINDELÁŘOVÁ, T., KOUBA, D., CHUM, J., REJFEK, L., POTUŽNÍKOVÁ, K., ARIKAN, F. and TOKER, C., 2018. Observation of the solar eclipse of 20 March 2015 at the Pruhonice station. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* vol. 171, pp. 277–284. DOI: 10.1016/j.jastp.2017.07.011
40. PANASENKO, S. V., OTSUKA, Y., VAN DE KAMP, M., CHERNOGOR, L. F., SHINBORI, A., TSUGAWA, T. and NISHIOKA, M., 2019. Observation and characterization of traveling ionospheric disturbances induced by solar eclipse of 20 March 2015 using incoherent scatter radars and GPS networks. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* vol. 191, id. 105051. DOI: 10.1016/j.jastp.2019.05.015
41. GUO, Q., CHERNOGOR, L. F., GARMASH, K. P., ROZUMENKO, V. T. and ZHENG, Y., 2020. Radio Monitoring of Dynamic Processes in the Ionosphere Over China During the Partial Solar Eclipse of 11 August 2018. *Radio Sci.* vol. 55, is. 2, id. e2019RS006866. DOI: 10.1029/2019RS006866
42. SOMSIKOV, V. M., 1983. *Solar terminator and dynamic phenomena in the atmosphere*. Alma-Ata, Kazakhstan: Nauka Publ. (in Russian).
43. SOMSIKOV, V. M., 1991. Waves in the Atmosphere Caused by the Solar Terminator: A Review. *Geomagnetizm i Aeronomiya*. vol. 31, no. 1, pp. 1–12. (in Russian)
44. BURMAKA, V. P., TARAN, V. I. and CHERNOGOR, L. F., 2004. Ionospheric Wave Disturbances Accompanied by Rocket Launches against a Background of Natural Transient Processes. *Geomagn. Aeron.* vol. 44, no. 4, pp. 476–491.
45. CHERNOGOR, L. F. and SHAMOTA, M. A., 2009. Geomagnetic pulsations associated with solar terminators near Kharkiv city. 1. Spectral analysis. *Space Sci. Tech.* vol. 15, no. 5, pp. 43–51. (in Russian). DOI: 10.15407/knit2009.05.043
46. CHERNOGOR, L. F. and SHAMOTA, M. A., 2009. Geomagnetic pulsations associated with solar terminators near Kharkiv city. 2. Statistical analysis. *Space Sci. Tech.* vol. 15, no. 6, pp. 14–19. (in Russian). DOI: 10.15407/knit2009.06.014
47. CHERNOGOR, L. F., 2012. Geomagnetic pulsations accompanied the solar terminator moving through magneto-

- conjugate region. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 17, no. 1, pp. 57–66. (in Russian).
48. SOLOVIEV, S. P., RYBNOV, YU. S. and KHARLAMOV, V. A., 2015. The synchronic disturbances of the acoustic and electric fields caused by artificial and natural sources. In: V. V. ADUSHKIN and G. G. KOCHERYAN, eds. *Trigger effects in geosystems. Proceedings of the 3rd All-Russia Meeting.* Moskow, Russia: GEOS Publ., pp. 317–326. (in Russian).
  49. CHERNOGOR, L. F., 2006. The tropical cyclone as an element of the Earth – atmosphere – ionosphere – magnetosphere system. *Space Sci. Tech.* vol. 12, no. 2-3, pp. 16–36. (in Russian). DOI: 10.15407/knit2006.02.016
  50. HETZER, C. H., WAXLER, R., GILBERT, K. E., TALMADGE, C. L. and BASS, H. E., 2008. Infrasound from hurricanes: Dependence on the ambient ocean surface wave field. *Geophys. Res. Lett.* vol. 35, is. 14, id: L14609. DOI: 10.1029/2008GL034614
  51. HETZER, C. H., GILBERT, K. E., WAXLER, R. and TALMADGE, C. L., 2010. Generation of Microbaroms by Deep-Ocean Hurricanes. In: A. LE PICHON, E. BLANC, and A. HAUCHECORNE, eds. *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies.* Dordrecht: Springer. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_8
  52. NISHIOKA, M., TSUGAWA, T., KUBOTA, M. and ISHII, M., 2013. Concentric waves and short-period oscillations observed in the ionosphere after the 2013 Moore EF5 tornado. *Geophys. Res. Lett.* vol. 40, is. 21, pp. 5581–5586. DOI: 10.1002/2013GL057963
  53. CHOU, M.-Y., LIN, C. C. H., YUE, J., CHANG, L. C., TSAI, H.-F. and CHEN, C.-H., 2017. Medium-scale traveling ionospheric disturbances triggered by Super Typhoon Nepartak (2016). *Geophys. Res. Lett.* vol. 44, is. 15, pp. 7569–7577. DOI: 10.1002/2017GL073961
  54. SPIVAK, A. A., RYBNOV, YU. S. and KHARLAMOV, V. A., 2018. Variations in Geophysical Fields during Hurricanes and Squalls. *Dokl. Earth Sci.* vol. 480, pp. 788–791. DOI: 10.1134/S1028334X18060193
  55. RICHARDS, A. F., 1963. Volcanic sounds: Investigation and analysis. *J. Geophys. Res.* vol. 68, is. 3, pp. 919–928. DOI: 10.1029/JZ068i003p00919
  56. GOERKE, V. H., YOUNG, J. M. and COOK, R. K., 1965. Infrasonic observations of the May 16, 1963, volcanic explosion on the island of Bali. *J. Geophys. Res.* vol. 70, is. 24, pp. 6017–6022. DOI: 10.1029/JZ070i024p06017
  57. BOLT, B. A. and TANIMOTO, T., 1981. Atmospheric oscillations after the May 18, 1980 eruption of Mount St. Helens. *Eos.* vol. 62, is. 23, pp. 529–530. DOI: 10.1029/EO062i023p00529
  58. KIEFFER, S. W., 1981. Blast dynamics at Mount St Helens on 18 May 1980. *Nature.* vol. 291, no. 5816, pp. 568–570. DOI: 10.1038/291568a0
  59. BANISTER, J. R., 1984. Pressure wave generated by the Mount St. Helens eruption. *J. Geophys. Res.* vol. 89, is. D3, pp. 4895–4904. DOI: 10.1029/JD089iD03p04895
  60. REED, J. W., 1987. Air pressure waves from Mount St. Helens eruptions. *J. Geophys. Res.* vol. 92, is. D10, pp. 11979–11992. DOI: 10.1029/JD092iD10p11979
  61. YAMASATO, H., 1997. Quantitative Analysis of Pyroclastic Flows Using Infrasonic and Seismic Data at Unzen Volcano, Japan. *J. Phys. Earth.* vol. 45, is. 6, pp. 397–416. DOI: 10.4294/jpe1952.45.397
  62. RIPEPE, M., CILIBERTO, S. and DELLA SCHIAVA, M., 2001. Time constraints for modeling source dynamics of volcanic explosions at Stromboli. *J. Geophys. Res. Solid Earth.* vol. 106, is. B5, pp. 8713–8727. DOI: 10.1029/2000JB900374
  63. RIPEPE, M., HARRIS, A. J. L. and CARNIEL, R., 2002. Thermal, seismic and infrasonic evidences of variable degassing rates at Stromboli volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* vol. 118, is. 3-4, pp. 285–297. DOI: 10.1016/S0377-0273(02)00298-6
  64. EVERS, L. G. and Haak, H. W., 2005. The detectability of infrasound in The Netherlands from the Italian volcano Mt. Etna. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* vol. 67, is. 3, pp. 259–268. DOI: 10.1016/j.jastp.2004.09.002
  65. CHERNOGOR, L. F., 2012. *Physics and Ecology of Disasters.* Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University Publ. (in Russian).
  66. DANIELS, F. B., 1962. Generation of Infrasound by Ocean Waves. *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 34, is. 3, pp. 352–353. DOI: 10.1121/1.1928128
  67. DONN, W. L. and POSMENTIER, E. S., 1967. Infrasonic waves from the marine storm of April 7, 1966. *J. Geophys. Res.* vol. 72, is. 8, pp. 2053–2061. DOI: 10.1029/JZ072i008p02053
  68. BREKHOVSKIKH, L. M., GONCHAROV, V. V., KURTEPOV, V. M. and NAUGOLNYKH, K. A., 1973. The radiation of infrasound into the atmosphere by surface waves in the ocean. *Izv. Atmos. Ocean Phys.* vol. 9, no. 9, pp. 899–907. (in Russian).
  69. ARENDT, S. and FRITTS, D. C., 2000. Acoustic radiation by ocean surface waves. *J. Fluid Mech.* vol. 415, pp. 1–21. DOI: 10.1017/S0022112000008636
  70. GARCÉS, M., WILLIS, M., HETZER, C., LE PICHON, A. and DROB, D., 2004. On using ocean swells for continuous infrasonic measurements of winds and temperature in the lower, middle, and upper atmosphere. *Geophys. Res. Lett.* vol. 31, is. 19, id. L19304. DOI: 10.1029/2004GL020696
  71. LE PICHON, A., MAURER, V., RAYMOND, D. and HYVERNAUD, O., 2004. Infrasound from ocean waves observed in Tahiti. *Geophys. Res. Lett.* vol. 31, is. 19, id. L19103. DOI: 10.1029/2004GL020676
  72. WAXLER, R. and Gilbert, K. E., 2006. The radiation of atmospheric microbaroms by ocean waves. *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 119, is. 5, pp. 2651–2664. DOI: 10.1121/1.2191607
  73. GARCÉS, M., WILLIS, M. and LE PICHON, A., 2010. Infrasonic Observations of Open Ocean Swells in the Pacific: Deciphering the Song of the Sea. In: A. LE PICHON, E. BLANC, and A. HAUCHECORNE, eds. *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies.* Dordrecht: Springer, pp. 235–248. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_7
  74. HETZER, C. H., GILBERT, K. E., WAXLER, R. and TALMADGE, C. L., 2010. Generation of Microbaroms by Deep-Ocean Hurricanes. In: A. LE PICHON, E. BLANC, and A. HAUCHECORNE, eds. *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies.* Dordrecht: Springer, pp. 249–262. DOI: 10.1007/978-1-4020-9508-5\_8
  75. GOSTINTSEV, YU. A., IVANOV, E. A., KOPYLOV, N. P. and SHATSKIKH, YU. V., 1983. Wave disturbances of

- the atmosphere due to large fires. *Combust. Explos. Shock Waves*. vol. 19, is. 4, pp. 427–429. DOI: 10.1007/BF00783639
76. SPIVAK, A. A., RIABOVA, S. A. and KHARLAMOV, V. A., 2019. The Electric Field in the Surface Atmosphere of the Megapolis of Moscow. *Geomagn. Aeron.* vol. 59, no. 4, pp. 467–478. DOI: 10.1134/S0016793219040169
  77. DONN, W. L. and POSMENTIER, E. S., 1964. Ground-coupled air waves from the Great Alaskan Earthquake. *J. Geophys. Res.* vol. 69, is. 24, pp. 5357–5361. DOI: 10.1029/JZ069i024p05357
  78. BOWMAN, G. G. and SHRESTHA, K. L., 1965. Atmospheric pressure waves from the Japanese earthquake on 16 June 1964. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* vol. 91, is. 388, pp. 223–224. DOI: 10.1002/qj.49709138813
  79. DAVIES, K. and BAKER, D. M., 1965. Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.* vol. 70, is. 9, pp. 2251–2253. DOI: 10.1029/JZ070i009p02251
  80. ROW, R. V., 1966. Evidence of long-period acoustic-gravity waves launched into the F region by the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.* vol. 71, is. 1, pp. 343–345. DOI: 10.1029/JZ071i001p00343
  81. MIKUMO, T., 1968. Atmospheric pressure waves and tectonic deformation associated with the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.* vol. 73, is. 6, pp. 2009–2025. DOI: 10.1029/JB073i006p02009
  82. COOK, R. K. and BEDARD JR, A. J., 1971. On the Measurement of Infrasonics. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* vol. 26, is. 1-4, pp. 5–11. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1971.tb03378.x
  83. YOUNG, J. M. and GREENE, G. E., 1982. Anomalous infrasonics generated by the Alaskan earthquake of 28 March 1964. *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 71, is. 2, pp. 334–339. DOI: 10.1121/1.387457
  84. KELLEY, M. C., LIVINGSTON, R. and MCCREADY, M., 1985. Large amplitude thermospheric oscillations induced by an earthquake. *Geophys. Res. Lett.* vol. 12, is. 9, pp. 577–580. DOI: 10.1029/GL012i009p00577
  85. OLSON, J. V., WILSON, C. R. and HANSEN, R. A., 2003. Infrasonics associated with the 2002 Denali fault earthquake, Alaska. *Geophys. Res. Lett.* vol. 30, is. 23, id. 2195. DOI: 10.1029/2003GL018568
  86. GARCÉS, M., CARON, P., HETZER, C., LE PICHON, A., BASS, H., DROB, D. and BHATTACHARYYA, J., 2005. Deep infrasonics radiated by the Sumatra earthquake and tsunami. *Eos*. vol. 86, is. 35, pp. 317–320. DOI: 10.1029/2005EO350002
  87. LE PICHON, A., HERRY, P., MIALLE, P., VERGOZ, J., BRACHET, N., GARCÉS, M., DROB, D. and CERANNA, L., 2005. Infrasonics associated with 2004–2005 large Sumatra earthquakes and tsunami. *Geophys. Res. Lett.* vol. 32, is. 19, id. L19802. DOI: 10.1029/2005GL023893
  88. MUTSCHLECHNER, J. P. and WHITAKER, R. W., 2005. Infrasonics from earthquakes. *J. Geophys. Res. Atmos.* vol. 110, is. D1, id. D01108. DOI: 10.1029/2004JD005067
  89. MIKUMO, T., SHIBUTANI, T., LE PICHON, A., GARCÉS, M., FEE, D., TSUYUKI, T., WATADA, S. and MORII, W., 2008. Low-frequency acoustic-gravity waves from coseismic vertical deformation associated with the 2004 Sumatra-Andaman earthquake ( $M_w=9.2$ ). *J. Geophys. Res. Solid Earth*. vol. 113, is. B12, id. B12402. DOI: 10.1029/2008JB005710
  90. GUO, Q., CHERNOGOR, L. F., GARMASH, K. P., ROZUMENKO, V. T. and ZHENG, YU., 2019. Dynamical processes in the ionosphere following the moderate earthquake in Japan on 7 July 2018. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* vol. 186, pp. 88–103. DOI: 10.1016/j.jastp.2019.02.003
  91. LUO, Y., GUO, Q., ZHENG, Y., GARMASH, K. P., CHERNOGOR, L. F. and SHULGA, S. M., 2019. HF radio-wave characteristic variations over China during moderate earthquake in Japan on September 5, 2018. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Radio Physics and Electronics"*. vol. 30, pp. 16–26. (in Russian). DOI: 10.26565/2311-0872-2019-30-02
  92. LUO, Y., CHERNOGOR, L. F., GARMASH, K. P., GUO, Q. and ZHENG, YU., 2020. Seismic-ionospheric effects: results of radio soundings at oblique incidence. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 25, no. 3, pp. 218–230. (in Ukrainian). DOI: 10.15407/rpra25.03.218
  93. GARCÉS, M., CARON, P., HETZER, C., LE PICHON, A., BASS, H., DROB, D. and BHATTACHARYYA, J., 2005. Deep infrasonics radiated by the Sumatra earthquake and tsunami. *Eos*. vol. 86, is. 35, pp. 317–320. DOI: 10.1029/2005EO350002
  94. BALACHANDRAN, N. K., 1979. Infrasonic signals from thunder. *J. Geophys. Res. Oceans* vol. 84, is. C4, pp. 1735–1745. DOI: 10.1029/JC084iC04p01735
  95. BALACHANDRAN, N. K., 1983. Acoustic and electric signals from lightning. *J. Geophys. Res. Oceans* vol. 88, is. C6, pp. 3879–3884. DOI: 10.1029/JC088iC06p03879
  96. FARGES, T., BLANC, E., LE PICHON, A., NEUBERT, T. and ALLIN, T. H., 2005. Identification of infrasonics produced by sprites during the Sprite2003 campaign. *Geophys. Res. Lett.* vol. 32, is. 1, id. L01813. DOI: 10.1029/2004GL021212
  97. LIN, T.-L. and LANGSTON, C. A., 2007. Infrasonics from thunder: A natural seismic source. *Geophys. Res. Lett.* vol. 34, is. 14, id. L14304. DOI: 10.1029/2007GL030404
  98. FARGES, T. and BLANC, E., 2010. Characteristics of infrasonics from lightning and sprites near thunderstorm areas. *J. Geophys. Res. Space Phys.* vol. 115, is. A6, id. A00E31. DOI: 10.1029/2009JA014700
  99. BLANC, E., FARGES, T., LE PICHON, A. and HEINRICH, P., 2014. Ten year observations of gravity waves from thunderstorms in western Africa. *J. Geophys. Res. Atmos.* vol. 119, is. 11, pp. 6409–6418. DOI: 10.1002/2013JD020499
  100. SPIVAK, A. A., RYBNOV, YU. S., SOLOVIEV, S. P. and KHARLAMOV, V. A., 2017. Acoustic and electric precursors of heavy thunderstorm under megalopolis conditions. *Geophysical processes and biosphere*. vol. 16, no. 4, pp. 81–91. (in Russian). DOI: 10.21455/GPB2017.4-7
  101. ROSE, G., OKSMAN, J. and KATAJA, E., 1961. Round-the-World Sound Waves produced by the Nuclear Explosion on October 30, 1961, and their Effect on the Ionosphere at Sodankylä. *Nature*. vol. 192, no. 4808, pp. 1173–1174. DOI: 10.1038/1921173a0
  102. DONN, W. L. and EWING, M., 1962. Atmospheric waves from nuclear explosions. *J. Geophys. Res.* vol. 67, is. 5, pp. 1855–1866. DOI: 10.1029/JZ067i005p01855
  103. DONN, W. L. and EWING, M., 1962. Atmospheric Waves from Nuclear Explosions – Part II: The Soviet Test of 30

- October 1961. *J. Atmos. Sci.* vol. 19, is. 3, pp. 264–273. DOI: 10.1175/1520-0469(1962)019%3C0264:AWFNEI%3E2.0.CO;2
104. FARKAS, E., 1962. Transit of Pressure Waves through New Zealand from the Soviet 50 Megaton Bomb Explosion. *Nature*. vol. 193, no. 4817, pp. 765–766. DOI: 10.1038/193765a0
105. GARDINER, G. W., 1962. Effects of the nuclear explosion of 30 October 1961. *J. Atmos. Terr. Phys.* vol. 24, is. 11, pp. 990–993. DOI: 10.1016/0021-9169(62)90146-0
106. PFEFFER, R. L. and ZARICHNY, J., 1962. Acoustic-Gravity Wave Propagation from Nuclear Explosions in the Earth's Atmosphere. *J. Atmos. Sci.* vol. 19, is. 3, pp. 256–263. DOI: 10.1175/1520-0469(1962)019%3C0256:AGWPFN%3E2.0.CO;2
107. WEXLER, H. and HASS, W. A., 1962. Global atmospheric pressure effects of the October 30, 1961, explosion. *J. Geophys. Res.* vol. 67, is. 10, pp. 3875–3887. DOI: 10.1029/JZ067i010p03875
108. DONN, W. L., PFEFFER, R. L. and EWING, M., 1963. Propagation of Air Waves from Nuclear Explosions: Nuclear explosions provide data on the relation of air-wave propagation to atmospheric structure. *Science*. vol. 139, is. 3552, pp. 307–317. DOI: 10.1126/science.139.3552.307
109. WEBB, H. D. and DANIELS, F. B., 1964. Ionospheric oscillations following a nuclear explosion. *J. Geophys. Res.* vol. 69, is. 3, pp. 545–546. DOI: 10.1029/JZ069i003p00545
110. OKSMAN, J. and KIVINEN, M., 1965. Ionospheric gravity waves caused by nuclear explosions. *Geophysica*. vol. 9, pp. 119–129.
111. MCCRORY, R. A., 1967. Atmospheric Pressure Waves from Nuclear Explosions. *J. Atmos. Sci.* vol. 24, is. 4, pp. 443–447. DOI: 10.1175/1520-0469(1967)024%3C0443:APWFNE%3E2.0.CO;2
112. ROW, R. V., 1967. Acoustic-gravity waves in the upper atmosphere due to a nuclear detonation and an earthquake. *J. Geophys. Res.* vol. 72, is. 5, pp. 1599–1610. DOI: 10.1029/JZ072i005p01599
113. CHE, I.-Y., PARK, J., KIM, I., KIM, T. S. and LEE, H.-I., 2014. Infrasound signals from the underground nuclear explosions of North Korea. *Geophys. J. Int.* vol. 198, is. 1, pp. 495–503. DOI: 10.1093/gji/ggu150
114. KULICHKOV, S. N., 1992. Long-range sound propagation in the atmosphere (Review). *Izv. Acad. Nauk SSSR, Fiz. Atmos. Okeana*. vol. 28, no. 4, pp. 3–20.
115. BUSH, G. A., IVANOV, E. A., KULICHKOV, S. N. and PEDANOV, M. V., 1997. Some Results of Recording Acoustic Signals From High-Altitude Explosions. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* vol. 33, no. 1, pp. 59–63.
116. CALAIS, E., MINSTER, J. B., HOFTON, M. A. and HEDLIN, M. A. H., 1998. Ionospheric Signature of Surface Mine Blasts from Global Positioning System Measurements. *Geophys. J. Int.* vol. 132, is. 1, pp. 191–202. DOI: 10.1046/j.1365-246x.1998.00438.x
117. CHERNOGOR, L. F., 2004. Geophysical effects and ecological consequences of multiple chemical explosions at ammunition dumps in Artemovsk. *Geofizicheskiy Zhurnal*. vol. 26, no. 4, pp. 31–44. (in Russian).
118. CHERNOGOR, L. F., 2004. Geophysical Effects and Ecological Consequences of Fire and Explosions of Ammunitions at a Military Base Near Melitopol. *Geofizicheskiy Zhurnal*. vol. 26, no. 6, pp. 61–73. (in Russian).
119. GIBBONS, S. J., RINGDAL, F. and KVÆRNA, T., 2007. Joint seismic-infrasound processing of recordings from a repeating source of atmospheric explosions. *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 122, is. 5, id. EL158. DOI: 10.1121/1.2784533
120. CHERNOGOR, L. F. and GARMASH, K. P., 2018. Magnetospheric and Ionospheric Effects Accompanying the Strongest Technogenic Catastrophe. *Geomagn. Aeron.* vol. 58, is. 5, pp. 673–685. DOI: 10.1134/S0016793218050031
121. CHERNOGOR, L. F., LIASHCHUK, O. I. and SHEVELEV, M. B., 2018. Parameters of infrasonic signals generated in the atmosphere by multiple explosions at an ammunition depot. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 23, no. 4, pp. 280–293. (in Russian). DOI: 10.15407/rpra23.04.280
122. DONN, W. L., POSMENTIER, E., FEHR, U. and BALACHANDRAN, N. K., 1968. Infrasound at Long Range from Saturn V, 1967. *Science*. vol. 162, is. 3858, pp. 1116–1120. DOI: 10.1126/science.162.3858.1116
123. KASCHAK, G. R., 1969. Long-range supersonic propagation of infrasonic noise generated by missiles. *J. Geophys. Res.* vol. 74, is. 3, pp. 914–918. DOI: 10.1029/JA074i003p00914
124. BALACHANDRAN, N. K., DONN, W. L. and KASCHAK, G., 1971. On the Propagation of Infrasound from Rockets: Effects of Winds. *J. Acoust. Soc. Am.* vol. 50, is. 2A, pp. 397–404. DOI: 10.1121/1.1912649
125. COTTEN, D. and DONN, W. L., 1971. Sound from Apollo rockets in space. *Science*. vol. 171, is. 3971, pp. 565–567. DOI: 10.1126/science.171.3971.565
126. DONN, W. L., BALACHANDRAN, N. K. and RIND, D., 1975. Tidal wind control of long-range rocket infrasound. *J. Geophys. Res.* vol. 80, is. 12, pp. 1662–1664. DOI: 10.1029/JC080i012p01662
127. NOBLE, S. T., 1990. A large-amplitude traveling ionospheric disturbance excited by the space shuttle during launch. *J. Geophys. Res. Space Phys.* vol. 95, is. A11, pp. 19037–19044. DOI: 10.1029/JA095iA11p19037
128. LI, Y. Q., JACOBSON, A. R., CARLOS, R. C., MASSEY, R. S., TARANENKO, Y. N. and WU, G., 1994. The blast wave of the Shuttle plume at ionospheric heights. *Geophys. Res. Lett.* vol. 21, is. 24, pp. 2737–2740. DOI: 10.1029/94GL02548
129. CHERNOGOR, L. F., 2009. *Radiophysical and Geomagnetic Effects of Rocket Engine Burn: Monograph*. Kharkiv, Ukraine: V. N. Karazin Kharkiv National University Publ. (in Russian).
130. CHERNOGOR, L. F. and BLAUNSTEIN, N., 2014. *Radiophysical and Geomagnetic Effects of Rocket Burn and Launch in the Near-the-Earth Environment*. Boca Raton, London, New York: CRC Press. Taylor & Francis Group.
131. KAKINAMI, Y., YAMAMOTO, M., CHEN, C.-H., WATANABE, S., LIN, C., LIU, J.-Y. and HABU, H., 2013. Ionospheric disturbances induced by a missile launched from North Korea on 12 December 2012. *J. Geophys. Res. Space Phys.* vol. 118, is. 8, pp. 5184–5189. DOI: 10.1002/jgra.50508
132. LIN, C. H., LIN, J. T., CHEN, C. H., LIU, J. Y., SUN, Y. Y., KAKINAMI, Y., MATSUMURA, M., CHEN, W. H., LIU, H. and RAU, R. J., 2014. Ionospheric shock waves triggered by rockets. *Ann. Geophys.* vol. 32, is. 9, pp. 1145–1152. DOI: 10.5194/angeo-32-1145-2014
133. DING, F., WAN, W., MAO, T., WANG, M., NING, B., ZHAO, B. and XIONG, B., 2014. Ionospheric response

- to the shock and acoustic waves excited by the launch of the Shenzhou 10 spacecraft. *Geophys. Res. Lett.* vol. 41, is. 10, pp. 3351–3358. DOI: 10.1002/2014GL060107
134. LIN, C. C. H., SHEN, M.-H., CHOU, M.-Y., CHEN, C.-H., YUE, J., CHEN, P.-C. and MATSUMURA, M., 2017. Concentric traveling ionospheric disturbances triggered by the launch of a SpaceX Falcon 9 rocket. *Geophys. Res. Lett.* vol. 44, is. 15, pp. 7578–7586. DOI: 10.1002/2017GL074192
135. CHOU, M.-Y., SHEN, M.-H., LIN, C. C. H., YUE, J., CHEN, C.-H., LIU, J.-Y. and LIN, J.-T., 2018. Gigantic Circular Shock Acoustic Waves in the Ionosphere Triggered by the Launch of FORMOSAT-5 Satellite. *Space Weather*. vol. 16, is. 2, pp. 172–184. DOI: 10.1002/2017SW001738
136. CHOU, M.-Y., LIN, C. C. H., SHEN, M.-H., YUE, J., HUBA, J. D. and CHEN, C.-H., 2018. Ionospheric Disturbances Triggered by SpaceX Falcon Heavy. *Geophys. Res. Lett.* vol. 45, is. 13, pp. 6334–6342. DOI: 10.1029/2018GL078088
137. GARMASH, K. P. and CHERNOGOR, L. F., 1998. Near-Earth effects which accompanied high-powerful radio emission action. *Zarubezhnaya radioelektronika. Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*. no. 6, pp. 17–40. (in Russian).
138. GARMASH, K. P. and CHERNOGOR, L. F., 1998. Electromagnetic and geophysics effects in near-Earth plasma, which accompanied high-powerful radio emission action. *Electromagnitnye yavleniya*. vol. 1, no. 1, pp. 90–110. (in Russian).
139. BURMAKA, V. P., DOMNIN, I. F., URYADOV, V. P. and CHERNOGOR, L. F., 2009. Variations in the Parameters of Scattered Signals and the Ionosphere Connected with Plasma Modification by High-Power Radio Waves. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 52, is. 11, pp. 774–795. DOI: 10.1007/s11141-010-9191-2
140. CHERNOGOR, L. F., VERTOGRADOV, G. G., URYADOV, V. P., VERTOGRADOVA, E. G. and SHAMOTA, M. A., 2011. Consistent Quasi-Periodic Variations of the Geomagnetic Pulsation Level and Doppler Frequency Shift of Decametric Radio Waves Aspect-Scattered by Artificial Field-Aligned Ionospheric Irregularities. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 53, is. 12, pp. 688–705. DOI: 10.1007/s11141-011-9262-z
141. CHERNOGOR, L. F., FROLOV, V. L., KOMRAKOV, G. P. and PUSHIN, V. F., 2011. Variations in the ionospheric wave perturbation spectrum during periodic heating of the plasma by high-power high-frequency radio waves. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 54, no. 2, pp. 75–88. DOI: 10.1007/s11141-011-9272-x
142. DOMNIN, I. F., PANASENKO, S. V., URYADOV, V. P. and CHERNOGOR, L. F., 2012. Results of radiophysical studies of the wave processes in the ionospheric plasma during its heating by high-power radio emission of the Sura facility. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 55, is. 4, pp. 253–265. DOI: 10.1007/s11141-012-9364-2
143. CHERNOGOR, L. F. and FROLOV, V. L., 2012. Traveling ionospheric disturbances generated due to periodic plasma heating by high-power high-frequency radiation. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 55, is. 1-2, pp. 13–32. DOI: 10.1007/s11141-012-9346-4
144. CHERNOGOR, L. F., FROLOV, V. L. and PUSHIN V. F., 2012. Infrasound oscillations in the ionosphere affected by high-power radio waves. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 55, is. 5, pp. 296–308. DOI: 10.1007/s11141-012-9369-x
145. CHERNOGOR, L. F. and FROLOV, V. L., 2013. Features of Propagation of the Acoustic-Gravity Waves Generated by High-Power Periodic Radiation. *Radiophys. Quantum Electron*. 2013. vol. 56, is. 4, pp. 197–215. DOI: 10.1007/s11141-013-9426-0
146. CHERNOGOR, L. F. and FROLOV, V. L., 2014. Geomagnetic Pulsation Amplitude and Spectrum Variations Accompanying the Ionospheric Heating by High-Power Radio waves from the Sura Facility. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 57, is. 5, pp. 340–359. DOI: 10.1007/s11141-014-9518-5
147. CHERNOGOR, L. F., 2014. *Physics of High-Power Radio Emissions in Geospace: Monograph*. Kharkiv, Ukraine: V. N. Karazin Kharkiv National University Publ. (in Russian).
148. CHERNOGOR, L. F., PANASENKO, S. V., FROLOV, V. L. and DOMNIN, I. F., 2015. Observations of the Ionospheric Wave Disturbances Using the Kharkov Incoherent Scatter Radar upon RF Heating of the Near-Earth Plasma. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 58, is. 2, pp. 79–91. DOI: 10.1007/s11141-015-9583-4
149. CHERNOGOR, L. F., GARMASH, K. P. and FROLOV, V. L., 2019. Large-scale disturbances in the lower and middle ionosphere accompanying its modification by the Sura heater. *Radiophys. Quantum Electron*. vol. 62, is. 6, pp. 395–411. DOI: 10.1007/s11141-019-09986-7
150. BALACHANDRAN, N. K., DONN, W. L. and RIND, D. H., 1977. Concorde Sonic Booms as an Atmospheric Probe. *Science*. vol. 197, is. 4298, pp. 47–49. DOI: 10.1126/science.197.4298.47
151. DONN, W. L., 1978. Exploring the Atmosphere with Sonic Booms: Or How I Learned to Love the Concorde. *Am. Sci.* vol. 66, is. 6, pp. 724–733.
152. DONN, W. L. and RIND, D., 1979. Monitoring Stratospheric Winds with Concorde-Generated Infrasound. *J. Appl. Meteor.* vol. 18, is. 7, pp. 945–952. DOI: 10.1175/1520-0450(1979)018%3C0945:MSWWCG%3E2.0.CO;2
153. AFANASIEVA, N. A., PLYATSUK, L. D., FILATOV, L. G. and TRUNOVA, I. A., 2014. Pulse infrasound signal produced by a wind turbine. Principles of assessment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 6, no. 10(72), pp. 13–19. (in Russian). DOI: 10.15587/1729-4061.2014.30979
154. SPIVAK, A. A., LOKTEV, D. N., RYBNOV, YU. S., SOLOVIEV, S. P. and KHARLAMOV, V. A., 2016. Geophysical fields of a megalopolis. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* vol. 52, is. 8, pp. 841–852. DOI: 10.1134/S0001433816080107
155. CHERNOGOR, L. F., 2017. Electric and magnetic effects of infrasound in the atmosphere. In: *Proceedings of 3<sup>rd</sup> All-Russian Conference on Global electric circuit*. Borok geophysical observatory of Shmidt Institute of Physics of the Earth, RAS. Yaroslavl', Russia: Filigran' Publ., pp. 11–12. (in Russian).
156. KANAMORI, H., MORI, J., ANDERSON, D. L. and HEATON, T. H., 1991. Seismic excitation by the space shuttle Columbia. *Nature*. vol. 349, no. 6312, pp. 781–782. DOI: 10.1038/349781a0

157. YAMPOLSKI, YU. M., ZALIZOVSKI, A. V., LITVINENKO, L. M., LIZUNOV, G. V., GROVES, K. and MOLDWIN, M., 2004. Magnetic Field Variations in Antarctica and the Conjugate Region (New England) Stimulated by Cyclone Activity. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 9, no. 2, pp. 130–152. (in Russian).
158. CHEKRYZHOV, V. M., SVIRKUNOV, P. N. and KOZLOV, S. V., 2019. The Influence of Cyclonic Activity on the Geomagnetic Field Disturbance. *Geomagn. Aeron.* vol. 59, is. 1, pp. 53–61. DOI: 10.1134/S0016793219010031
159. SOLOVIEV, S. P., RYBNOV, YU. S. and KHARLAMOV, V. A., 2015. The synchronic disturbances of the acoustic and electric fields caused by artificial and natural sources. In: V. V. ADUSHKIN and G. G. KOCHERYAN, eds. *Abstracts of 3rd All-Russian Seminar–Meeting on Trigger Effects in Geosystems*. Moscow, Russia: GEOS Publ. p. 71. (in Russian).
160. SURKOV, V. V., 2000. *Electromagnetic Effects Caused by Earthquakes and Explosions*. Moscow, Russia: MEPhI Press. (in Russian).
161. CHERNOGOR, L. F., 2018. Physical effects of the Romanian meteoroid. 2. *Space Sci. Technol.* vol. 24, no. 2, pp. 18–35. (in Russian). DOI: 10.15407/knit2018.02.018
162. CHERNOGOR, L. F., 2019. Physical Effects of the Lipetsk Meteoroid: 3. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies.* vol. 35, is. 6, pp. 271–285. DOI: 10.3103/S0884591319060023
163. CHALMERS, J. A., 1967. *Atmospheric electricity*. Oxford, New York: Pergamon Press.

*Y. Luo and L. F. Chernogor*

V. N. Karazin Kharkiv National University,  
4, Svoboda Sq., Kharkiv, 61002, Ukraine

#### ELECTROMAGNETIC EFFECTS OF ACOUSTIC AND ATMOSPHERIC GRAVITY WAVES IN THE NEAR-EARTH ATMOSPHERE

*Purpose:* Acoustic and atmospheric gravity waves (AAGW) are generated by many natural and anthropogenic sources. The AAGW propagation at ionospheric heights is accompanied by the generation of disturbances in the magnetic and electric fields.

The plasma presence plays a crucial role. The mechanisms for generating electrical and magnetic disturbances in the near-Earth atmosphere by the AAGW have been studied much worse. Therefore, the validation of the capability to generate electromagnetic disturbances in the near-Earth atmosphere by the AAGW is an urgent problem. The purpose of this paper is to describe the mechanism for generating disturbances in the electric and magnetic fields in the near-Earth atmosphere under the action of AAGW and to estimate the amplitudes of these disturbances for various AAGW sources.

*Design/methodology/approach:* The impact of a series of high-energy sources often results in the generation of synchronous disturbances in the acoustic and geoelectric (atmospheric) fields, when an approximate proportionality between the pressure amplitude and the amplitude of the disturbances in the atmospheric electric field is observed to occur. Based on the observational data and making use of the Maxwell equations, the theoretical estimates of the disturbances in the electric and magnetic fields have been obtained.

*Findings:* Simplified expressions have been obtained for estimating the amplitudes of the electric and magnetic fields under the action of the AAGW generated by natural and man-made sources. The amplitudes of the electric and magnetic fields generated by the AAGW of natural and manmade origin, which travel in the near-Earth atmosphere, have been calculated. The amplitudes of the AAGW generated electric and magnetic fields are shown to be large enough to be detected with the existing electrometers and fluxmeter magnetometers. The magnitudes of the amplitudes of the electric and magnetic fields generated in the near-Earth atmosphere under the action of AAGW are large enough to trigger coupling between the subsystems in the Earth–atmosphere–ionosphere–magnetosphere system.

*Conclusions:* The estimates and not numerous observations are in good agreement.

*Key words:* acoustic and atmospheric gravity waves, near-Earth atmosphere, volume charge, atmospheric pressure disturbances, electric field, magnetic field

*Стаття надійшла до редакції 12.09.2020*