

Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна
Факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем
Кафедра космічної радіофізики

"ДО ЗАХИСТУ"
Завідувач кафедри
космічної радіофізики
професор
Л. Ф. Чорногор
“ ” _____ 2022 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРИКЛАДНА ФІЗИКА ТА НАНОМАТЕРІАЛИ»

ФЛУКТУАЦІЇ ЗБУРЕНОГО ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Керівник
Завідувач кафедри космічної радіофізики
доктор фіз.-мат. наук,
професор

Леонід ЧОРНОГОР

Студент групи РР – 66

Микита НИКИТИН

Рецензент
доктор фіз.-мат. наук,
доцент

Олег ЛАЗОРЕНКО

Харків 2022

УДК: 550.388

Реферат

М. С. Никитін. Флуктуації геомагнітного поля, викликані природними та техногенними джерелами. Дипломна робота з радіофізики та електроніки. Харків, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем, кафедра космічної радіофізики, 2022, 11 рис., 2 табл., 25 сторінок, 4 посилань.

У роботі розглянуто вплив магнітної бурі, сильних землетрусів та стартів ракет на геомагнітне поле. Наведено теоретичні основи магнітометричного методу та системного спектрального аналізу (ССА). Представлені результати ССА часових варіацій рівня горизонтальних компонент геомагнітного поля, що супроводжували досліджувані джерела хвильових збурень. Наведено фізичне тлумачення отриманих результатів.

UDK: 550.388

Abstract

M. S. Nykytin. Geomagnetic field fluctuations caused by nature and technological sources. Graduate work in Radio Physics and Electronics, Department of Space Radio Physics, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, 2022, 25 Pages, 11 Figures, 2 Table, 4 References.

The influence of magnetic storm, powerful earthquakes and rocket launches on geomagnetic field is considered. The theoretical bases of magnetometric method and system spectral analysis (SSA) are given. Results from the SSA of variations in the geomagnetic field horizontal components, which are associated with sources of wave disturbances being investigated are presented. Physical interpretation of the results is given.

ЗМІСТ

1. ВСТУП	4
2. ЗАСОБИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	5
2.1. Вимірювальний комплекс	5
2.2. Методи обробки даних	5
2.3. Висновки	7
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
3.1. Загальні відомості	8
3.2. Результати обробки даних геомагнітних ефектів, що супроводжували старту ракет у період 2020 – 2021 рр.	9
3.3. Інтерпретація результатів ССА	12
3.4. Висновки	12
4. ВИСНОВКИ	14
5. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕЛІЛ	15
6. ДОДАТОК А	16

1. ВСТУП

Актуальність. На сьогодні актуальним є питання взаємодії підсистем в системах Земля – атмосфера – іоносфера – магнітосфера та Сонце – міжпланетне середовище – магнітосфера – іоносфера – атмосфера – Земля. Варіації рівня геомагнітного поля є одним з каналів взаємодії підсистем. Їхня взаємодія більш чітко проявляється під час значних енерговиділень в одній з підсистем, які можуть мати як природне, так і техногенне походження [1].

До природних факторів, які впливають на геокосмос, належать землетруси, грозова активність, проходження сонячного термінатора, виверження вулканів, викиди корональної маси, тощо.

Поступово збільшується вплив на геокосмос техногенних джерел енерговиділення таких як старти потужних ракет, вибухи різноманітного походження, потужне випромінювання.

У більшості випадків виявлення впливу окремого джерела на стан іоносфери є надзвичайно складною задачею. Тому виникає необхідність системного підходу до вивчення іоносферних збурень. Таким чином, мають бути враховані різні фактори, що могли мати одночасний вплив на навколоземне космічне середовище і викликати певні хвильові збурення. Слід зауважити, що досі немає точних моделей процесів, обумовлених високоенергетичним впливом на геокосмос, тому пошук нових закономірностей є актуальною задачею.

У даній роботі для дослідження реакції геомагнітного поля на техногенні джерела обрано старти ракет з космодромів, розташованих в різних точках земної кулі. Експериментальні дані отримані в Радіофізичній обсерваторії ХНУ імені В. Н. Каразіна.

Об'єктом дослідження є варіації геомагнітного поля.

Предметом дослідження є варіації геомагнітного поля, викликані стартами ракет.

Методи дослідження – експериментальний, комп'ютерне моделювання. Під час обробки експериментальних даних застосовувалися методи математичної статистики, статистичної радіофізики та спектральний аналіз.

Метою роботи є викладення та фізичне тлумачення експериментальних результатів стосовно реакції геомагнітного поля на техногенні джерела (пусками потужних ракет).

Робота складається з вступу, двох розділів та висновків. У другому розділі описані технічні засоби та методи отримання даних. У третьому розділі увага приділяється обговоренню отриманих результатів, а також їхній інтерпретації з точки зору механізмів поширення хвильових збурень. У висновках викладені основні результати роботи. Безпосередньо результати обробки експериментальних даних наведені у додатках.

2. ЗАСОБИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Вимірювальний комплекс

Вимірювання виконані за допомогою унікального несерійного магнітометра-флюксометра, розташованого в Радіофізичній обсерваторії ХНУ імені В. Н. Каразіна. Магнітометр-флюксометр реєструє у цифровому вигляді рівень флуктуацій горизонтальних компонент геомагнітного поля з періодами $T = 1 - 1000$ с. Мінімальні значення амплітуд флуктуацій визначаються рівнем внутрішніх шумів. Чутливість магнітометра складає $0,5 - 500$ пТл для $T = 1 - 1000$ відповідно. Магнітометр має широку смугу досліджуваних частот – від $0,001$ до 2 Гц.

На рис. 2.1. наведено функціональну схему магнітометричної системи.

Магнітометр ИМ-II під'єднано до спеціалізованого мікроконтролерно-го реєстратора (МКР), який виконує низку функцій, таких як оцифровування магнітометричних сигналів та їх фільтрування, а також збереження інформації в енергонезалежній USB флеш пам'яті. Крім того, МКР контролює заряд акумулятора та наявність напруги в електромережі [2].

Магнітометр складається з активних індуктивних датчиків та моноблоку, до складу якого належать смугові фільтри для реєстрації у вузьких діапазонах частот.

В системі також є приймач GPS сигналів BR-304, від якого МКР отримує інформацію про дату та поточний час.

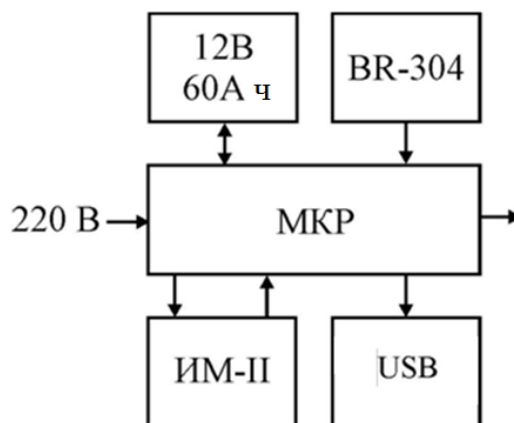


Рис. 2.1. Структурна схема магнітометричної системи [2].

Кожні $2 - 3$ місяці здійснюється зчитування отриманої інформації для її подальшої обробки.

2.2. Методи обробки даних

Різноманітні природні та штучні джерела призводять до збурення іоносфери та поширення одночасно декількох коливань. Також треба зважати на

те, що утворені хвильові збурення накладаються на певні природні хвильові процеси, що існували до приходу збурень.

На першому етапі обробки магнітометричні сигнали перетворювали до сигналів $H(t)$ та $D(t)$. Подальша обробка полягала у цифровій фільтрації цих сигналів у певних інтервалах періодів. У цій роботі використовувалися такі періоди $T = 10 - 100$ с та $T = 100 - 1000$ с. Крім цього, було проведено аналіз стану космічної погоди.

Взагалі найбільш звичним підходом до обробки сигналів досі було традиційне перетворення Фур'є. В цій роботі оброблення вже відфільтрованих даних було здійснено з використанням системного спектрального аналізу (ССА). Застосування ССА для аналізу нестационарних та коротких часових рядів має низку плюсів у порівнянні з традиційним перетворенням Фур'є.

ССА є спільним використанням віконного перетворення Фур'є, адаптивного перетворення Фур'є та вейвлет-перетворення.

Віконне перетворення Фур'є дає змогу розглядати характеристики сигналу не на всій часовій осі, а у певному часовому проміжку. Цей час існування сигналу розбивається на низку проміжків, тобто часові вікна [3].

$$\hat{S}[f(t)] \equiv Sf(\omega, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t-b) \exp(-i\omega t) dt. \quad (2.2.1)$$

Формула (2.2.1) описує зазначене перетворення, де $f(t)$ – сигнал, а $g(t-b)$ – віконна функція, b – параметр зсуву функції уздовж часової вісі. Певному вікну задовольняє власний набір комплексних амплітуд вже у частотній області. Принцип невизначеності $\Delta t \Delta f \approx 1$ призводить до неможливості отримання одночасно доброї роздільної здатності за часом та за частотою. Основним недоліком віконного перетворення Фур'є є однакова роздільна здатність за частотою для різних частотних складових сигналу.

Адаптивне Фур'є-перетворення має кращу роздільну здатність за шуканими періодами [3].

$$\hat{A}[f(t)] \equiv A_v f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g\left(\frac{t-b}{a}\right) \exp\left(-i\pi v\left(\frac{t-b}{a}\right)\right) dt. \quad (2.2.2.)$$

Віконне перетворення Фур'є має кращу роздільну здатність за часом. Одночасне застосування обох перетворень дає змогу отримати більш повну інформацію про періоди компонент сигналу та їхнє положення на часовій осі.

Використовуючи вейвлет-перетворення, можна досягти оптимальної роздільної здатності як за періодами, так і за часом [3].

$$\hat{W}[f(t)] \equiv Wf(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (2.2.3)$$

де a – параметр масштабування, $\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ – вейвлет-спектр сигналу.

Основною метою при здійсненні вейвлет-перетворення є вибір відповідного вейвлета, який має бути подібним до досліджуваного сигналу. В даній роботі використано вейвлет Морле:

$$\psi(t) = \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \cos(\omega t) \quad (2.2.4)$$

Таким чином можливості усіх зазначених інтегральних перетворень доповнюють один одного, компенсуючи недоліки одного з них перевагами інших.

2.3. Висновки

1. Виявлення впливу певного джерела на стан іоносфери є надзвичайно складною задачею. Треба врахувати всі фактори, що могли одночасно впливати на навколоземне космічне середовище і породжувати певні хвильові збурення.

2. Експериментальні дослідження було проведено магнітометричним методом, який застосовує магнітометр-флюксометр для отримання рівня флуктуацій горизонтальних компонент геомагнітного поля з періодами $T = 1 - 1000$ с.

3. На першому етапі обробки магнітометричних сигналів їх перетворювали до сигналів $H(t)$ та $D(t)$. Далі здійснювалася цифрова фільтрація сигналів у певних інтервалах періодів $T = 10 - 100$ с та $T = 100 - 1000$ с. Крім цього, було проведено вивчення стану космічної погоди. Оброблення вже відфільтрованих даних було здійснено з використанням системного спектрального аналізу.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Загальні відомості

Коли ракета досягає висоти близько 100 км, безпосередньо в іоносфері генеруються іоносферні збурення. Під дією реактивного струменя ракети змінюється провідність плазми, перш за все на висотах 100 – 200 км. Крім цього, на цих висотах генеруються ударні хвилі, які поширюються від ракети зі швидкостями, що перевищують швидкість звуку у даному середовищі. З віддаленням від траєкторії ракети ударна хвиля поступово перетворюється на акустико-гравітаційну хвилю [1].

Швидкість поширення збурення також залежить від стану іоносфери, часу доби та сезону. Вона становить приблизно 0,3 – 0,6 км/с, що є характерною швидкістю атмосферних гравітаційних хвиль в атмосфері Землі. Максимум амплітуди цих хвиль припадає на висоти 200 – 250 км, а глибина згасання не менше 3000 – 5000 км. Коли внутрішні гравітаційні хвилі поширюються в атмосфері, вони змінюють концентрацію електронів в іоносфері, що викликає змінний іоносферний струм [5]. Цей струм призводить до виникнення квазіперіодичних варіацій геомагнітного поля.

Було розглянуто 10 пусків ракет з різних космодромів світу за період 2020 – 2021 рр.

Найбільш цікавим є перший старт ракети «*Falcon Heavy*» 6 лютого 2020 р. у 20:45 UT. Ця ракета є багаторазовою ракетою-носієм надважкого класу, вага якої становить близько 1421 тони.

Відомості про дату і час стартів, ракети, розташування космодромів наведені у таблиці 3.1. Саме ці старти були обрані для дослідження їхнього впливу на тлі збурень космічного походження, а також на тлі збурень від сонячного термінатора.

Таблиця 3.1.

Дата	Час (UT)	Космодром	Країна	Відстань до обсерваторії (км)	Ракета
22.02.20	05:58	Байконур	Казахстан	2200	Союз-У
08.06.20	03:45				Proton M
14.06.20	09:20				Союз 2.1.а
14.07.20	06:36				Союз 2.1.а
28.07.20	15:41	Байконур	Казахстан	2200	Союз-ФГ
16.08.20	22:07				Протон М
11.09.20	20:41				Протон М
12.09.20	21:17				Союз-ФГ
21.09.20	00:02	Плесецьк	Росія	1500	Союз 2.1.б
13.10.20	09:27	Плесецьк			Рокот
19.01.21	04:14	Цзюцюань	Китай	4900	Long March

					11
20.01.21	00:48	Канаверал	США	9330	Atlas 5
	01:43	Rocket Lab Launch Complex	Нова Зеландія	16744	Electron
25.01.21	05:39	Січан	Китай	7180	Long March 2C
	22:22	Куру	Франція	9500	Ariane 5
31.01.21	21:25	Канаверал	США	9330	Falcon 9
01.02.21	02:07	Східний	Росія	5990	Союз 2.1.a
02.02.21	07:51	Цзюцюань	Китай	4900	Long March 2C
06.02.21	20:45	Канаверал	США	9330	Falcon Heavy
12.02.21	05:03	Січан	Китай	7180	Long March 3B
13.02.21	08:13	Байконур	Казахстан	2200	Союз 2.1.a
22.02.21	14:17	Канаверал	США	9330	Falcon 9
27.02.21	04:34	Танегасіма	Японія	7750	H-2A
01.03.21	22:02	Канаверал	США	9330	Atlas 5
06.03.21	05:33				Falcon 9
21.03.21	17:44	Байконур	Казахстан	2200	Союз-ФГ
02.04.21	20:30	Канаверал	США	9330	Falcon 9

3.2. Результати обробки даних геомагнітних ефектів, що супроводжували старти ракет у період 2020 – 2021 рр.

Результати обробки даних, що стосуються реакції геомагнітного поля на старти ракет, наведені у додатку А.

У таблиці 3.2. для досліджуваних стартів зазначені розраховані часи запізнювання хвильових збурень, їхня тривалість та швидкість поширення. Слід зауважити, що час запізнення було скориговано, враховуючи, що ракета досягає іоносфери приблизно за 3 хвилини. Швидкість поширення хвильових збурень розраховано через час запізнення та відстань між конкретним космодромом та Радіофізичної обсерваторією, яка становила для різних космодромів від 1500 км до 16744 км.

Можна помітити деякі відмінності у часі запізнення і відповідно швидкості у Н- та D-компоненті. Пропущені клітинки у таблиці обумовлені неявним проявом хвильових збурень в обох компонентах одночасно.

Таблиця 3.2.

Космод- ром	Час запіз- нення, Δt (хв)		Тривалість, ΔT (хв)		Швидкість (км/с)		Примітки
	H	D	H	D	H	D	
Канаверал	377	357	130	210	0,412	0,435	
Куру	340	285	95	30	0,466	0,555	
Шріхарі- кота	95 205	75 –	60 50	50 –	0,988 0,458	1,88 –	Проходження термінатора на рівні Землі у 03:29 UT.
Куру	87 172 287	97 162 –	30 30 150	25 30 –	1,82 0,92 0,552	1,63 0,977 –	Перше хвильове збурення з'явилося майже одразу після старту, отже воно було викли- кано джерелом космічного походження.
Веньчан	54 394	50 470	20 130	30 30	2,22 0,304	2,4 0,255	Проходження термінатора на рівні Землі у 14:04 UT.
Січан	93 283	93 343	30 140	30 35	1,28 0,423	1,28 0,349	
Байконур	81	86	20	15	0,494	0,465	Проходження термінатора на висоті 300 км у 15:34 UT.
Куру	211 446	211 461	15 30	15 25	0,75 0,355	0,75 0,343	
Байконур	34	37	25	65	1,18	1,08	Під час старту можна спосте- рігати значну амплітуду флук- туацій.
	102 192	112 –	60 40	50 –	0,392 0,208	0,357 –	
	157	147	90	100	0,255	0,272	Ефект не має чіткого прояву у D-компоненті.
	126 –	51 141	115 –	70 50	0,317 –	0,784 0,284	
	190	195	90	115	0,214	0,208	Проходження термінатора на висоті 300 км у 20:08 UT.
	83 133	83 128	60 55	60 60	0,5 0,308	0,5 0,32	Проходження термінатора на висоті 300 км у 00:12 UT.
	35 120	– 95	35 30	– 50	1,21 0,341	– 0,434	Перше хвильове збурення не має чіткого прояву.

	25	20	30	40	1.81	2,22	Спостерігається на тлі геомагнітної бурі.
Плесецьк	23 87	28 90	30 30	40 20	1.25 0,298	1 0,287	Проходження термінатора на висоті 300 км у 01:29 UT
	58 153	35 183	35 70	50 35	0,454 0,167	0,78 0,139	
Цзюцюань	68 248 398	43 245 388	125 40 130	150 30 135	1,2 0,333 0,207	1,9 0,336 0,212	Проходження термінатора на рівні Землі у 05:21 UT.
Канаверал	227 (172)	227 (172)	85	85	0,69 (1,64)	0,69 (1,64)	Проходження термінатора на рівні Землі у 05:20 UT. Неможливо визначити, який саме старт був джерелом збурень.
Rocket Lab Launch Complex	513 (457)	–	110	–	0,395 (0,61)	–	
Січан	52	75	160	105	2,4	1,64	
Куру	–	48	–	20	–	0,326	Амплітуда флуктуацій у Н-компоненті зростає поступово, неможливо визначити точний час запізнення.
Канаверал	35	10	30	45	4,44	15,55	Занадто велика швидкість у D-компоненті.
Східний	268 –	– 413	50 –	– 50	0,376 –	– 0,243	Неодночасний прояв у різних компонентах.
Цзюцюань	73 140	73 153	60 30	40 35	1,17 0,575	1,17 0,541	
Канаверал	53	53	75	50	3,1	3,1	Маса ракети становить 1420 т.
Січан	48 257 440	48 238 440	70 30 40	60 20 80	2,66 0,47 0,273	2,66 0,509 0,273	
Байконур	47 142 287	– 137 297	35 45 60	– 50 50	0,888 0,285 0,14	– 0,296 0,136	
Канаверал	183 343	183 383	145 140	160 115	0,864 0,457	0,864 0,409	Проходження термінатора на висоті 300 км у 16:55 UT.
Танегасіма	76 326	86 326	25 230	25 190	1,77 0,4	1,5 0,4	
Канаверал	57	38	50	40	2,83	4,3	
	343	303	40	80	0,457	0,518	Одразу після старту з'явилися помітні збурення, проте, напевно, їхнє походження не пов'язано зі стартом ракети.

Байконур	53 196	53 226	90 120	85 50	0,8 0,206	0,8 0,18	Проходження термінатора на висоті 300 км одночасно зі стартом ракети.
Канаверал	410	450	125	80	0,381	0,348	Проходження термінатора на рівні Землі у 03:04 UT.

3.3. Інтерпретація результатів ССА

Зміна характеру варіацій геомагнітного поля супроводжувала майже всі пуски ракет. Найчастіше амплітуда коливань зростала на 1 – 2 нТл. Іноді вона зменшувалася, що свідчить про складання коливання, викликаного пуском ракети, та коливання, яке існувало до поширення збурення, у протифазі. Тривалість хвильових збурень зазвичай відрізнялася для різних космодромів, проте чіткої закономірності при цьому не було виявлено.

Після деяких стартів спостерігалися збурення з різним часом запізнювання. Це говорить про одночасне збудження декількох типів хвиль в іоносфері. Ми виділили 3 групи швидкостей поширення хвильових збурень, що спостерігалися після пусків ракет:

- 206 – 555 м/с, які добре узгоджуються з характерними швидкостями акустико-гравітаційних хвиль у Е-області іоносфери, що становлять приблизно 300 – 500 м/с.
- 750 – 888 м/с, які близькі до швидкостей поширення акустико-гравітаційних хвиль у F-області, що дорівнюють 700 – 800 м/с.
- 920 – 4400 м/с, які відносяться до повільних МГД-хвиль. Характерна швидкість цих хвиль дорівнює 1 – 4 км/с.

Відомо, що геомагнітні пульсації у діапазоні періодів 400 – 800 с можуть бути викликані космічними та земними причинами, проте зазвичай перші відіграють більш значну роль. Було проаналізовано варіації рівня Н- та B_z -компонент, а також D- та B_z -компонент для селекції геомагнітних пульсацій, викликаних стартами ракет, від геомагнітних пульсацій, обумовлених впливом космічних причин. Незважаючи на те, що розрахована кореляція флуктуацій рівнів зазначених компонент невелика, проте у деяких випадках цуги коливань Н- та D-компонент могли бути викликані саме космічними причинами. Про це свідчать швидкості, що складала 1 – 4,4 км/с.

3.4. Висновки

1. Проаналізовано 10 стартів ракет з різних космодромів світу за період 2020 – 2021 рр. Отримані швидкості відповідають акустико-гравітаційним хвилям на висотах Е- і F-області іоносфери та повільним МГД-хвилям.

2. Результати дослідження показали, що час запізнювання змінювався від 25 хв до 440 хв для Н-компоненти і з 10 хв до 470 хв для Д-компоненти. Суттєво змінювалась тривалість збурень. Швидкість запізнювання змінювалась приблизно в 10 разів.

4.ВИСНОВКИ

1. На іоносферу впливають безліч факторів, вплив яких окремо досить важко виявити. Виникає необхідність системного підходу до вивчення іоносферних збурень. Через відсутність адекватної математичної моделі важливу роль відіграють експериментальні дослідження.

2. Для вивчення ефектів у іоносфері, які виникають під впливом пусків ракет, застосовано магнітометричний метод. Магнітометр реєструє у цифровому вигляді рівень флуктуацій горизонтальних компонент геомагнітного поля з періодами $T = 1 - 1000$ с. Для обробки експериментальних результатів здійснена смугова фільтрація сигналів у інтервалах періодів $10 - 100$ с та $100 - 1000$ с. Потім проведено системний спектральний аналіз варіацій геомагнітного поля для Н- та D-компонент. Проаналізовано стан космічної погоди.

3. Визначено основні параметри цугів хвиль, викликаних досліджуваними джерелами, а саме час запізнення, період та тривалість. Знання часу запізнення та відстані між космодромом (або епіцентром) та Радіофізичною обсерваторією дало змогу оцінити швидкості поширення хвильових збурень. Отримані значення швидкостей добре узгоджуються з характерними швидкостями акустико-гравітаційних хвиль і повільних МГД-хвиль.

5. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 1. Чорногор Л. Ф. Радіофізичні та геомагнітні ефекти стартів ракет / Чорногор Л. Ф. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна – 2009. – 386 с.
2. 2. Космічний проект «Іоносат-Мікро»: монографія / За ред. С.А. Посухи, О.П. Федорова. – Київ: Академперіодика. – 2013. – 218 с
3. 3. Лазоренко О. В. Системний спектральний аналіз сигналів: теоретичні основи та практичні застосування / О. В. Лазоренко, Л. Ф. Чорногор. // Радіофізика та радіоастрономія. – 2007. – №2. – С. 162–181.
4. 4. Geomagnetic variations caused by rocket launches from the Plesetsk and the Baikonur cosmodromes / L. F.Chernogor, K. P. Garmash, V. T. Rozumenko, K. O. Smirnova. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія "Радіофізика та електроніка". – 2017. – №26. С. 84 – 87.

6. ДОДАТОК А

Системний спектральний аналіз варіацій геомагнітного поля, що супроводжували старти ракет

26 вересня 2020 р.

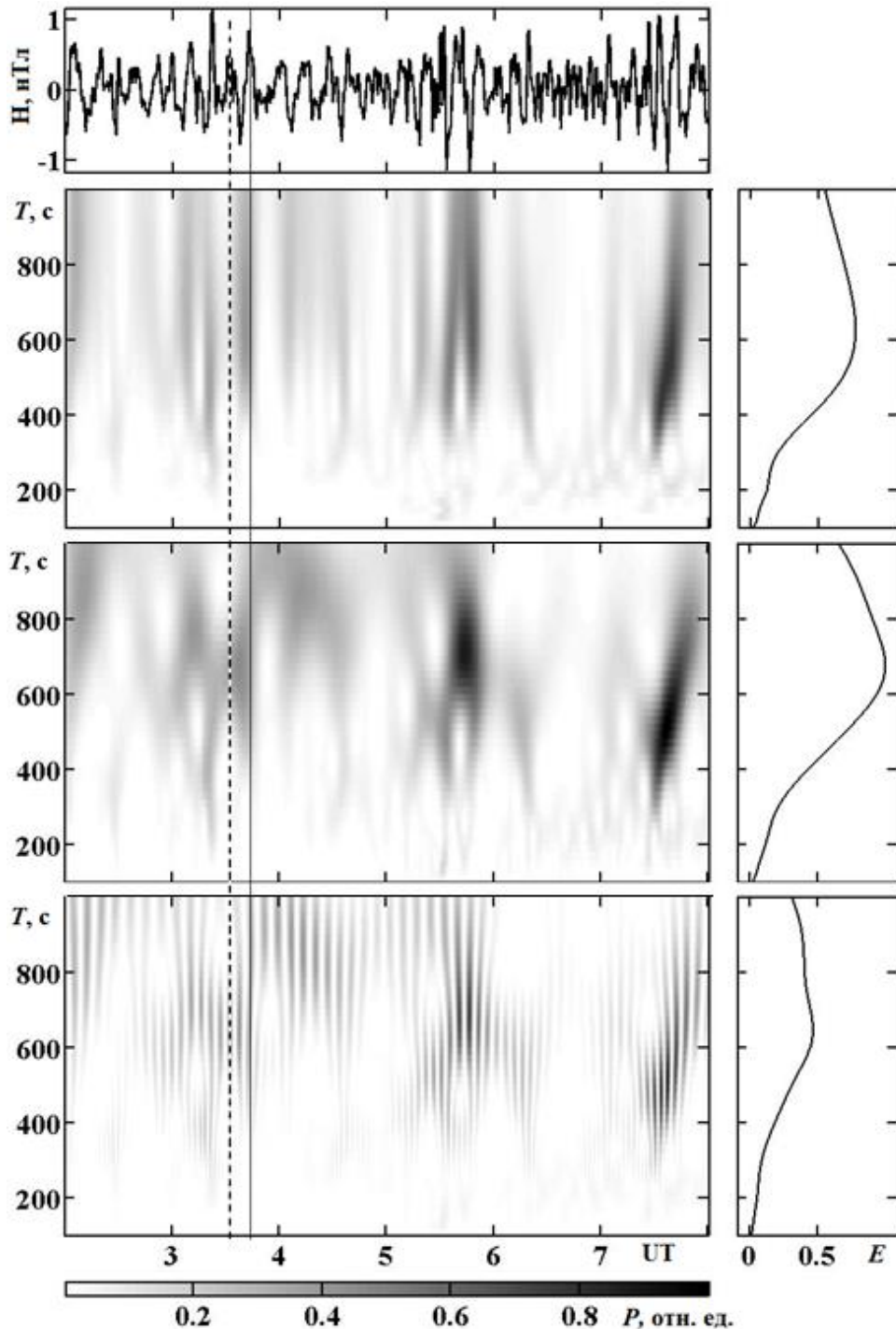


Рис. 6.В.1. Часові варіації рівня Н-компоненти геомагнітного поля, відповідні спектри та енергограми (розподіл середньої енергії коливань за періодами) у діапазоні періодів 100 – 1000с, що супроводжували старт ракети «PSLV, Сура» 26 вересня 2020 р. у 03:42 UT з космодрому Шріхарікота (Індія). Штри-

ховою лінією позначено момент сходу Сонця на рівні Землі у місці розташування обсерваторії.

26 вересня 2020 р.

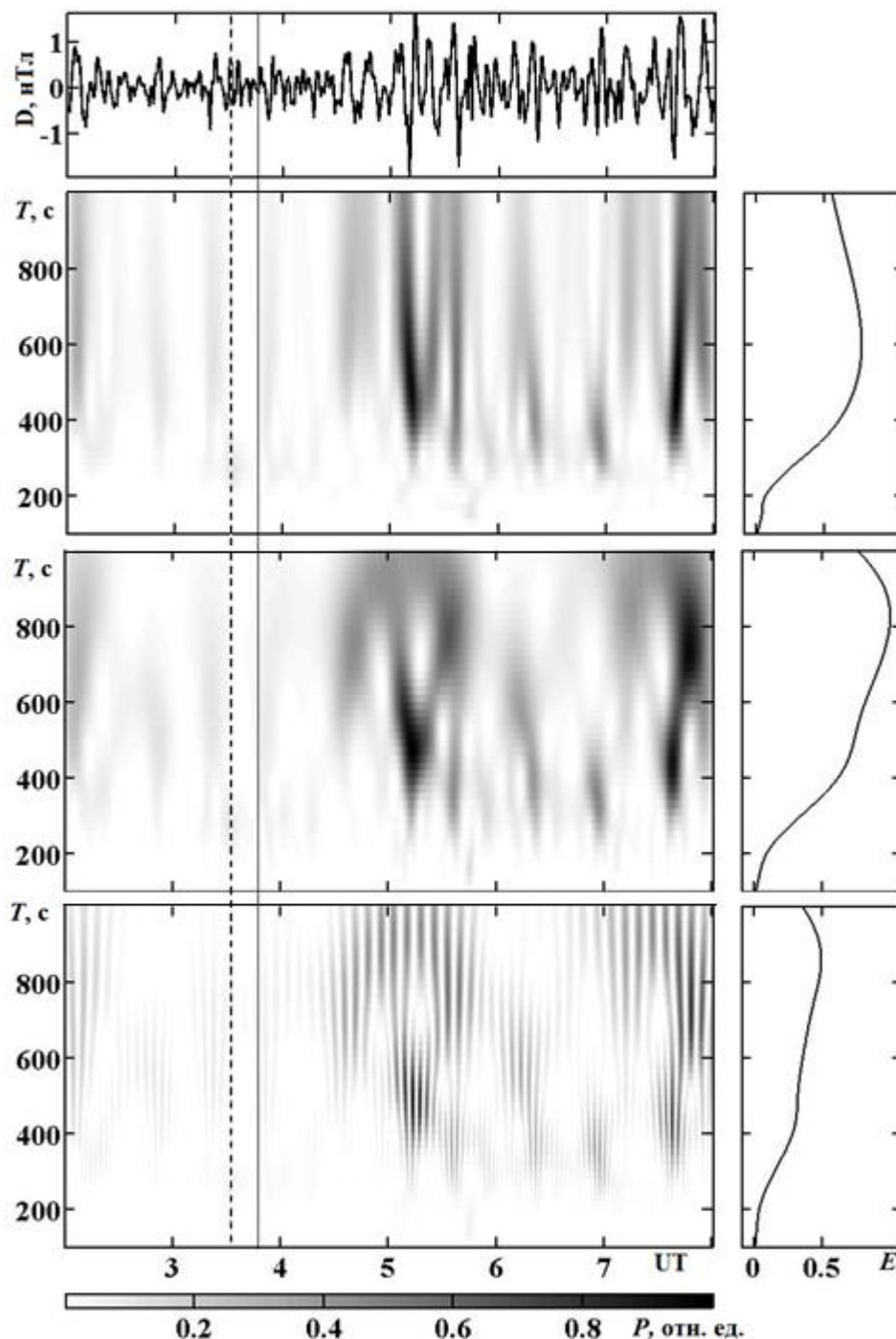


Рис. 6.В.2. Часові варіації рівня D-компоненти геомагнітного поля, відповідні спектри та енергограми (розподіл середньої енергії коливань за періодами) у діапазоні періодів 100 – 1000с, що супроводжували старт ракети «*PSLV, Surya*» 26 вересня 2020 р. у 03:42 UT з космодрому Шріхарікота (Індія). Штриховою лінією позначено момент сходу Сонця на рівні Землі у місці розташування обсерваторії.

22 листопада 2020 р.

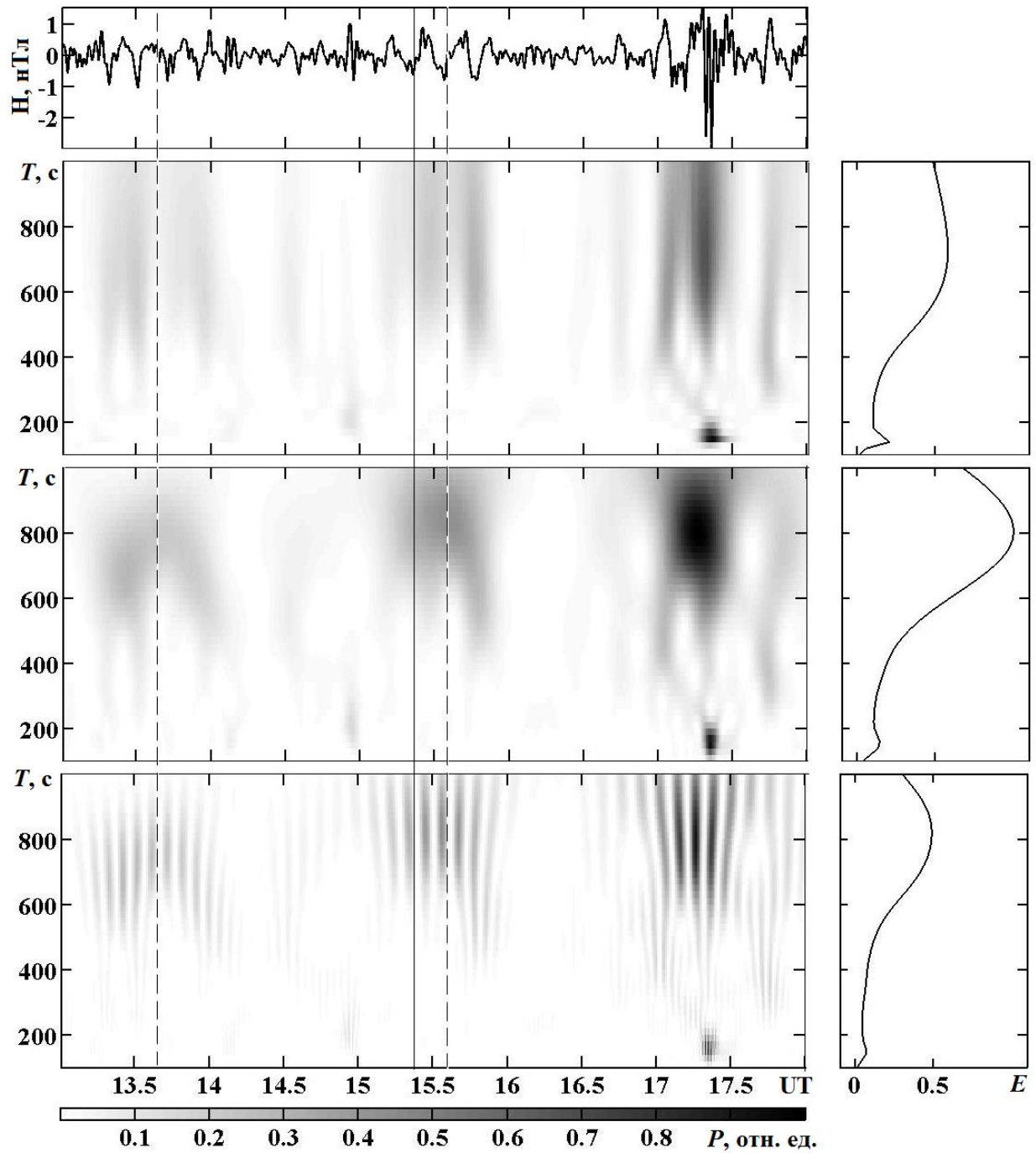


Рис. 6.В.3. Часові варіації рівня Н-компоненти геомагнітного поля, відповідні спектри та енергограми (розподіл середньої енергії коливань за періодами) у діапазоні періодів 100 – 1000с, що супроводжували старт ракети «LongMarch3C» 22 листопада 2020 р. у 15:24 UT з космодрому Січан (Китай). Штриховими лініями позначено моменти заходу Сонця на рівні Землі у місці розташування обсерваторії та на висоті 300 км.

22 листопада 2020 р.

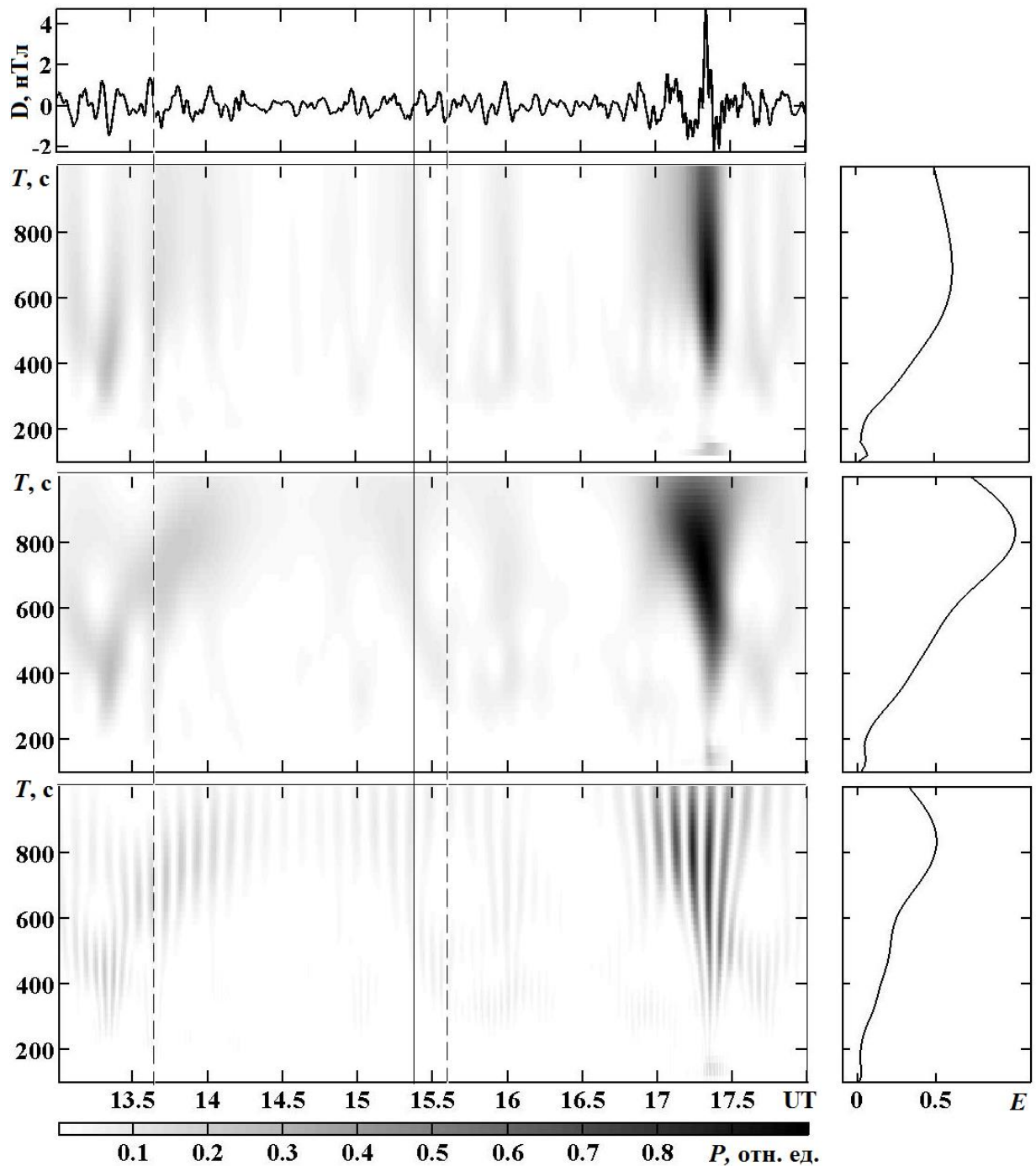


Рис. 6.В.4. Часові варіації рівня D-компоненти геомагнітного поля, відповідні спектри та енергограми (розподіл середньої енергії коливань за періодами) у діапазоні періодів 100 – 1000с, що супроводжували старт ракети «LongMarch3C» 22 листопада 2020 р. у 15:24 UT з космодрому Січан (Китай). Штриховими лініями позначено моменти заходу Сонця на рівні Землі у місці розташування обсерваторії та на висоті 300 км.

22 листопада 2020 р.

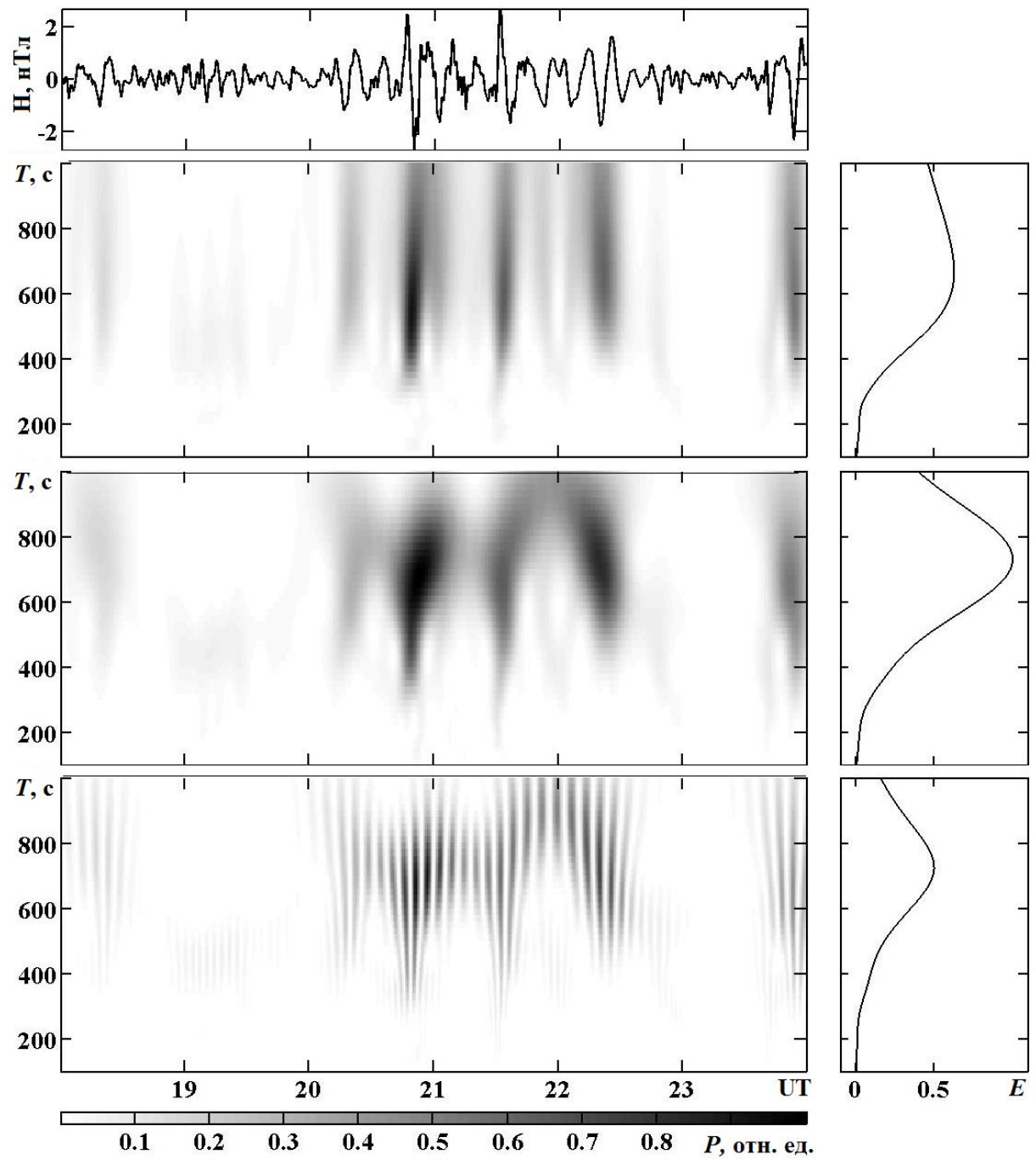


Рис. 6.B.5.

22 листопада 2020 р.

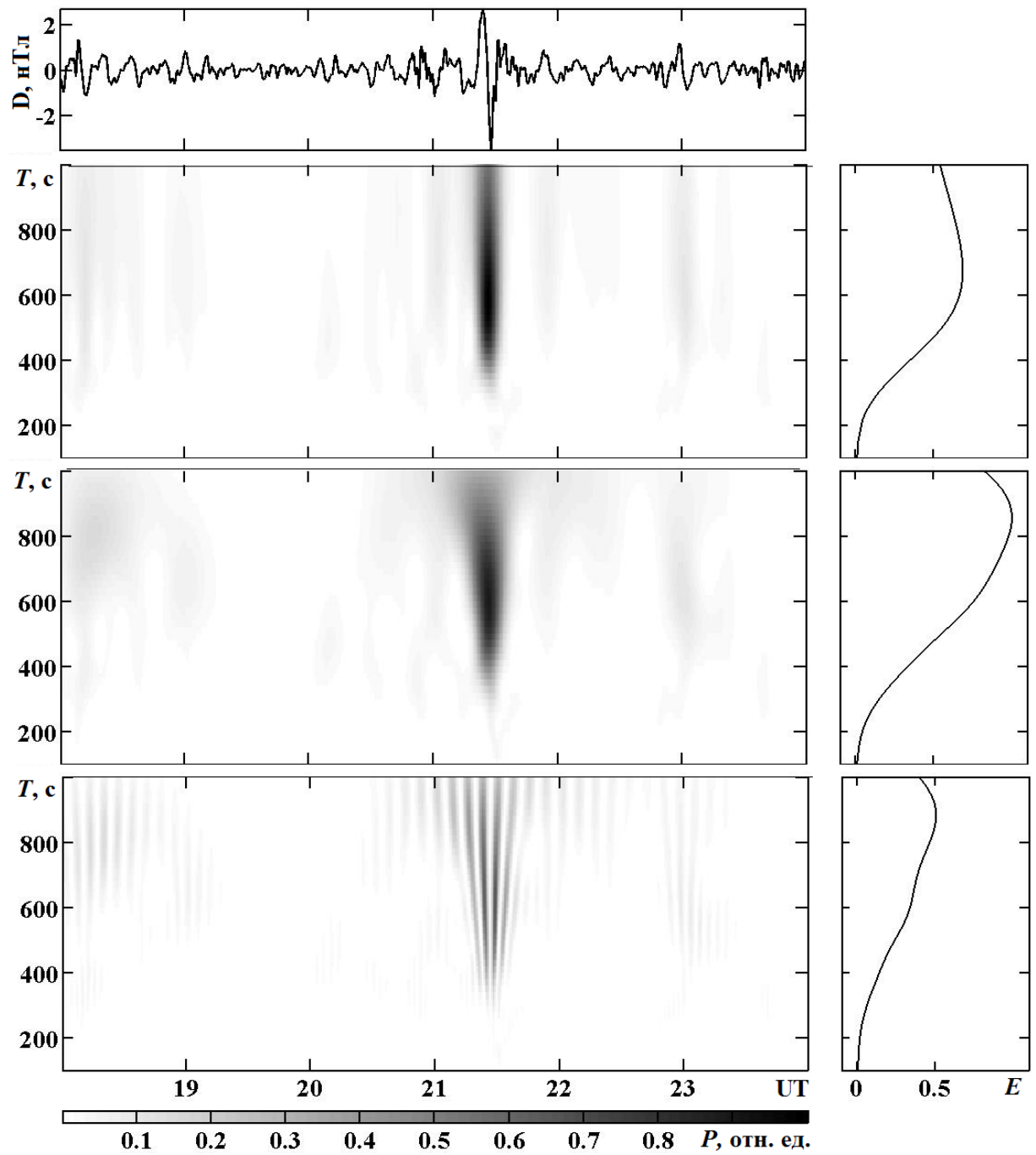


Рис. 6.В.6.

1 грудня 2020 р.

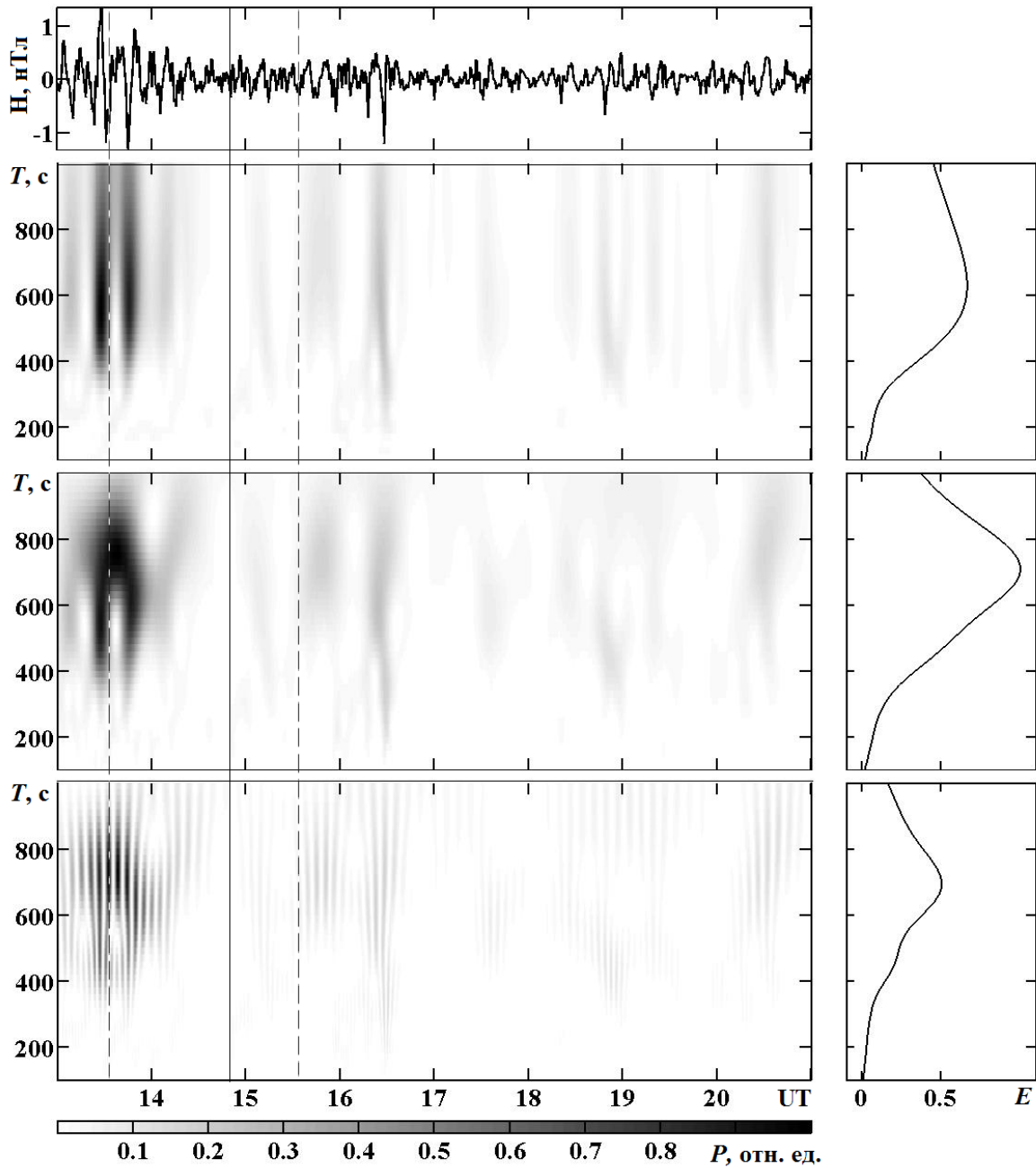


Рис. 6.В.7. Часові варіації рівня Н-компоненти геомагнітного поля, відповідні спектри та енергограми (розподіл середньої енергії коливань за періодами) у діапазоні періодів 100 – 1000с, що супроводжували старт ракети «Союз У» 1 грудня 2020 р. у 14:51 UT з космодрому Байконур (Казахстан). Штриховими лініями позначено моменти заходу Сонця на рівні Землі у місці розташування обсерваторії та на висоті 300 км.

1 грудня 2020 р.

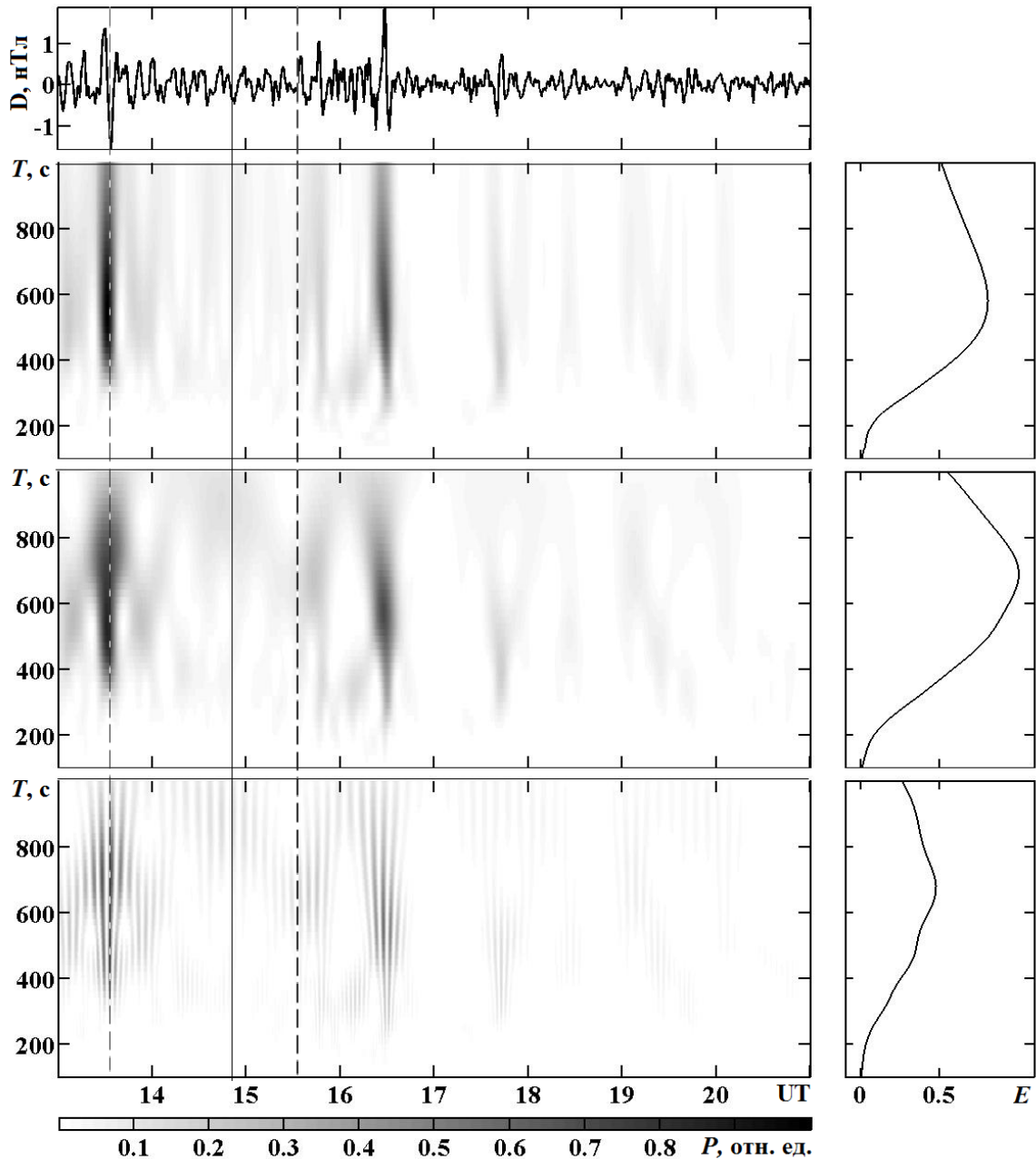


Рис. 6.В.8. Часові варіації рівня D-компоненти геомагнітного поля, відповідні спектри та енергограми (розподіл середньої енергії коливань за періодами) у діапазоні періодів 100 – 1000с, що супроводжували старт ракети «Союз У» 1 грудня 2020 р. у 14:51 UT з космодрому Байконур (Казахстан). Штриховими лініями позначено моменти заходу Сонця на рівні Землі у місці розташування обсерваторії та на висоті 300 км.

5 грудня 2020 р.

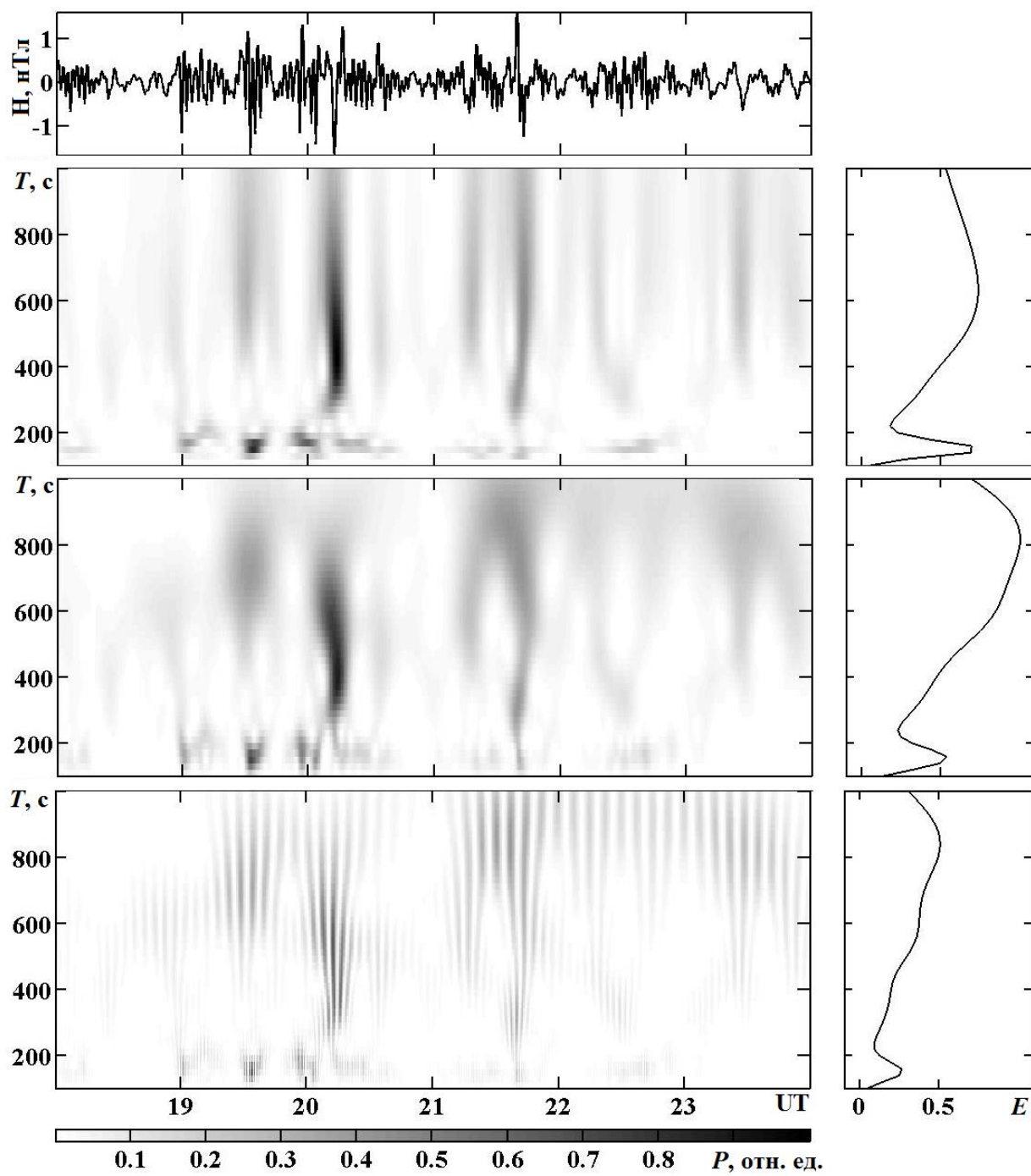


Рис. 6.В.20.

5 грудня 2020 р.

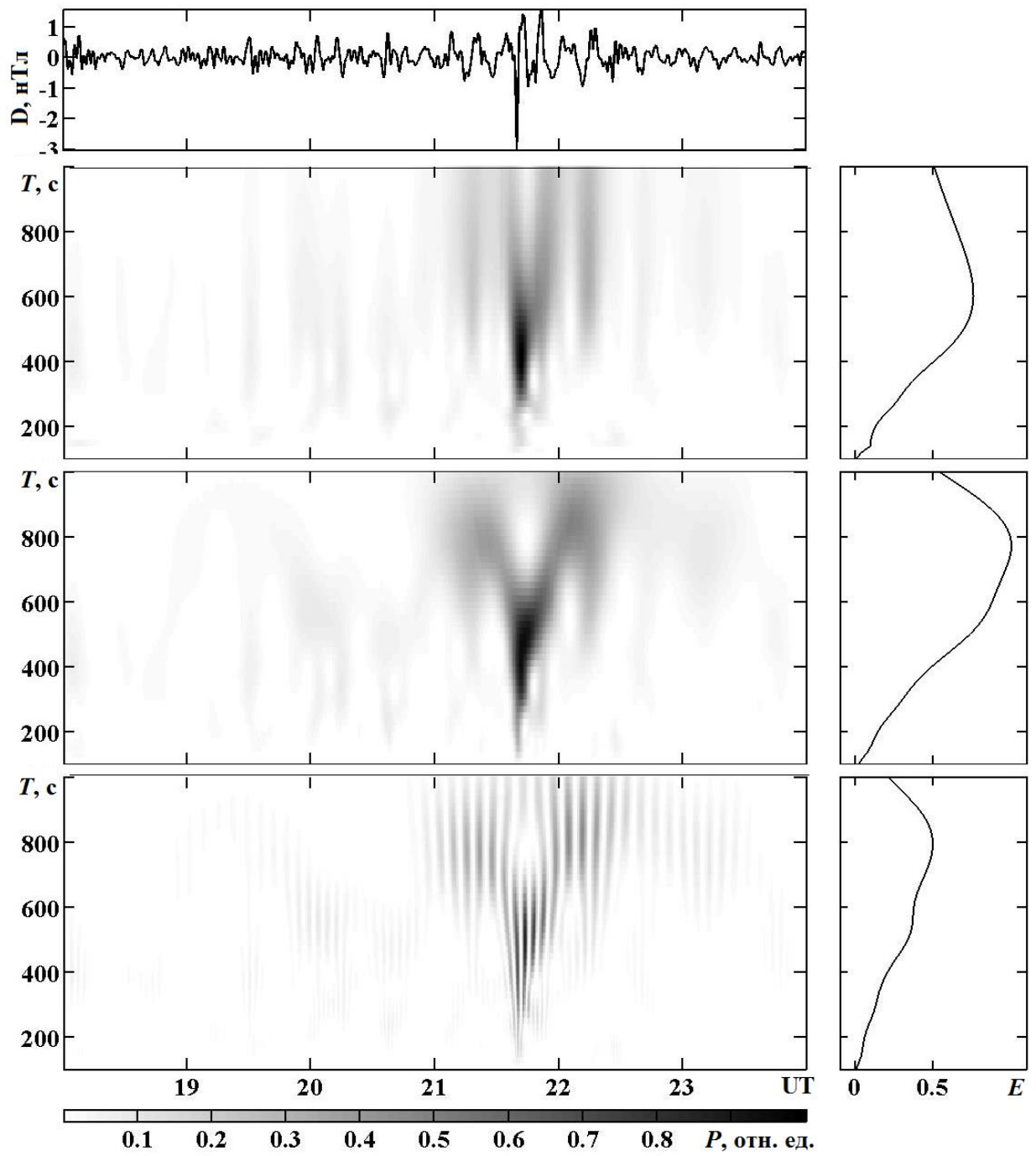


Рис. 6.В.10.