

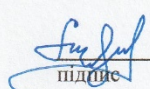
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна

Факультет радіофізики, біомедичної
електроніки та комп'ютерних систем
Кафедра космічної радіофізики

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 ініціали, прізвище Л.Ф. Черногор

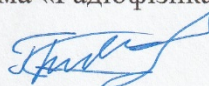
“ ” 2020 року

**Кваліфікаційна робота
магістра**

на тему:

**Флуктуації геомагнітного поля, які супроводжували
дуже сильну магнітну бурю у вересні 2017 року**

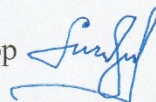
Виконав: студент II курсу магістратури, групи РР-66
спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали,
освітньо-професійна програма «Радіофізика і електроніка»



Гасанов Р. Б.

Керівник

доктор фіз.-мат. наук, професор



Чорногор Л. Ф.

Харків 2020

1. ВСТУП

Актуальність. В наші дні є дуже актуальним питання взаємодії підсистем в системах Земля – атмосфера – іоносфера – магнітосфера та Сонце – міжпланетний простір – магнітосфера – іоносфера – атмосфера – Земля. Варіації рівня геомагнітного поля є одним з каналів взаємодії цих підсистем. Їхня взаємодія чітко проявляється під час значних енерговиділень в одній з підсистем, які можуть мати як природне, так і техногенне походження [1].

До природних факторів впливу на геокосмічний простір належать землетруси, грозові спалахи, виверження вулканів, викиди корональних мас Сонця, магнітні бурі, тощо.

В даній роботі для дослідження реакції геомагнітного поля увага приділена такому фактору, як магнітна буря. Експериментальні дані були взяті з Радіофізичної обсерваторії ХНУ імені В. Н. Каразіна.

Об'єкт дослідження – варіації геомагнітного поля.

Предмет дослідження – варіації геомагнітного поля, викликані магнітними бурями.

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

Мета роботи – викладення та фізичне тлумачення експериментальних результатів стосовно реакції геомагнітного поля на магнітні бурі.

2. МАГНІТОМЕТР – ФЛЮКСМЕТР ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ КАРАЗІНА

Вимірювання були виконані за допомогою несерійного магнітометра-флюксметра, який розташований в Радіофізичній обсерваторії ХНУ імені В. Н. Каразіна. Магнітометр реєструє у цифровому вигляді рівні 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 $T=1-1000$ с. Магнітометр має широку смугу досліджуваних частот – від $0,001$ до 2 Гц.

На рис. 2.1. зображена функціональна схема магнітометричної системи.

Магнітометр ИМ-II під'єднаний до спеціалізованого мікроконтролерного 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.

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

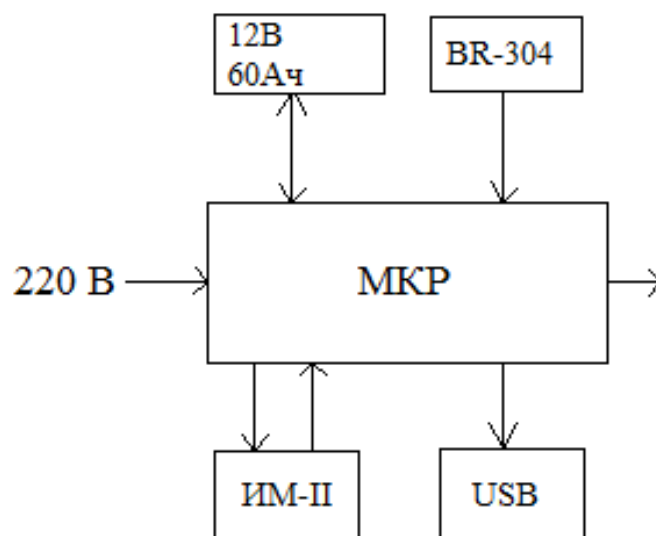


Рис.2.1. Структурна схема магнітометричної системи [2].

3. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОКОСМІЧНУ БУРЮ 3 – 16 ВЕРЕСНЯ 2017 РОКУ

Під дією електромагнітного та корпускулярного випромінювання Сонця та сонячного вітру виникає ряд процесів на Землі, до таких процесів можна віднести збільшення електронної концентрації в іоносфері, її нагрівання, тощо. Ці процеси є первинними. Проте існують і вторинні процеси, до них належать генерування варіації геомагнітного поля, акустико-гравітаційних хвиль, тощо [3].

Розглянемо стан космічної погоди з 3 до 16 вересня 2017 року. На рис.3.1. зображено часові залежності параметрів сонячного вітру. До цих параметрів відносяться (зверху вниз) концентрації частинок n_{sw} , радіальна швидкість V_{sw} , температура T_{sw} , динамічний тиск p_{sw} , компоненти міжпланетного магнітного поля B_z , B_y та B_t , функція Akasofu ϵ_A , яка описує енергію, що передається магнітосфері, індекси K_p та D_{st} .

За період з 3 до 16 вересня 2017 року відбулося 4 сонячних спалахи, найбільш потужним був у період з 12 години 6 вересня до 21 години 7 вересня, досить потужні спостерігалися в о 20 годині 12 вересня та о 12 годині 14 вересня, також незначна буря з 13 до 23 години 4 вересня.

На верхній панелі можна помітити, що за період з 3 до 16 вересня концентрація частинок зросла декілька разів. Перше зростання почалося приблизно о 9 годині 4 вересня, а максимум концентрації становив 10^7 м^{-3} і припав на 16 годину цього ж дня. Наступне зростання почалося о 20 годині 6 вересня, максимальне значення спостерігалось вже опівночі з 6 вересня на 7. Також значне підвищення було о 18 годині 12 вересня, максимум становив більш ніж $15 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$. Але найбільший максимум спостерігався о 12 годині 14 вересня і сягав більше ніж $2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$.

Також можна побачити, що найбільші значення швидкостей дорівнювали 600 км/с опівночі з 4 на 5 вересня, 800 км/с о 3 та о 7 годині 8 вересня, 600 км/с о 19 годині 12 вересня та о 23 годині 14 вересня майже 700 км/с, яке зберігалось до 16 вересня.

Ще можна помітити зростання температури та тиску, які зростали майже одночасно та сягали максимуму приблизно о 21 годині 4 вересня, о 1 годині 7 вересня, о 10 годині 8 вересня. Також два максимальні значення тиску мали місце опівночі з 12 на 13 вересня та о 12 годині 14 вересня та сягали близько 10 нПа.

Із залежності функції Akasofu можна також спостерігати декілька періодів зростання цієї функції, а саме з 8 до 11 години 7 вересня, з 16 години

7 вересня до 17 години 8 вересня, також о 20 та о 24 годині 12 вересня, і останнє о 16 годині 14 вересня.

Щодо індексу K_p , який характеризує магнітну активність планети, як цілого, то він мав значення близько 7 з 0 до 2 години 8 вересня, 9 з 3 до 5 години цього ж дня.

Індекс AE характеризує магнітну активність на високих широтах, де відбувається основне впровадження енергії. Найбільші максимуми цього індексу спостерігалися о 8 та о 23 годині 7 вересня та сягали приблизно 1200 нТл, також оди максимум, який сягав близько 1500 нТл о 16 годині 8 вересня. З 10 до 16 вересня значення коливалося від 600 нТл до 1000 нТл.

Розглядаючи часову залежність індексу D_{st} , який описує магнітну активність на екваторіальних широтах, можна спостерігати фази магнітної бурі. На останньому графіку можна побачити раптовий початок другої бурі о півночі з 6 на 7 вересня, значення індексу сягало 25 нТл. Головна фаза бурі тривала з 12 години 7 вересня і приблизно до 2 години 8 вересня. Після цього почалася фаза відновлення. Далі зростання індексу D_{st} не спостерігалось. Приблизно о 12 годині 8 вересня можна бачити невеликий максимум.

Третя та четверта бурі були слабшими, але їх можна було виявити за індексом D_{st} . Раптовий початок відбувся приблизно о 22 годині 12 вересня та о 12 годині 14 вересня відповідно. Головні фази цих бурь тривали до 1 години 13 вересня та до 20 години 14 вересня.

Вересень 2017

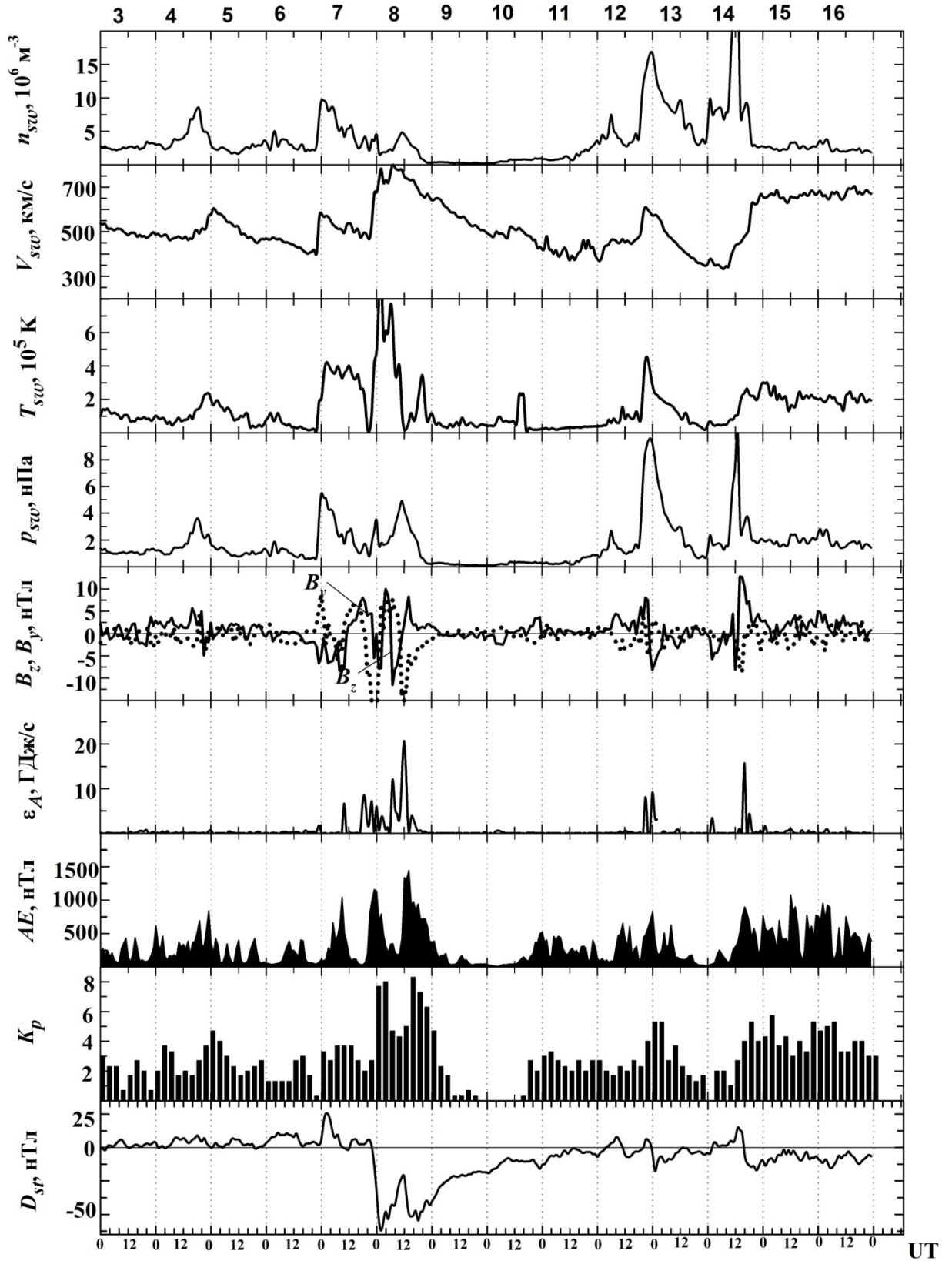


Рис.3.1. Стан космічної погоди 3 – 16 вересня 2017 року.

4. ФЛУКТУАЦІЇ ГЕОКОСМІЧНОГО ПОЛЯ ПІД ЧАС МАГНІТНОЇ БУРІ

Для дослідження збурень іоносфери здійснювалася обробка магнітометричних даних за період 3 – 16 вересня 2017 року, але найбільш сильні ефекти спостерігалися в окремі проміжки часу з 6 до 14 вересня 2017 року, які можна розглянути в додатку.

Перше сильне зростання амплітуди флуктуації відбувалося 6 вересня після 10 години та о 12 годині за міжнародним часом (див. у додатку). Особливо потужна реакція іоносфери розпочалася о 12 годині, коли стрибок амплітуди сягав більш ніж 6 нТл по Н-компоненті, та більш ніж 15 нТл по D-компоненті. Розглянемо первинні магнітометричні дані з 11 до 13 години 6 вересня

(рис.4.1). На рисунку видно, що приблизно в той самий проміжок часу, коли відбувся сонячний спалах, обидві компоненти геомагнітного поля різко збільшилися до 200 відносних одиниць. Тривалість ефекту складала близько 10 хвилин.

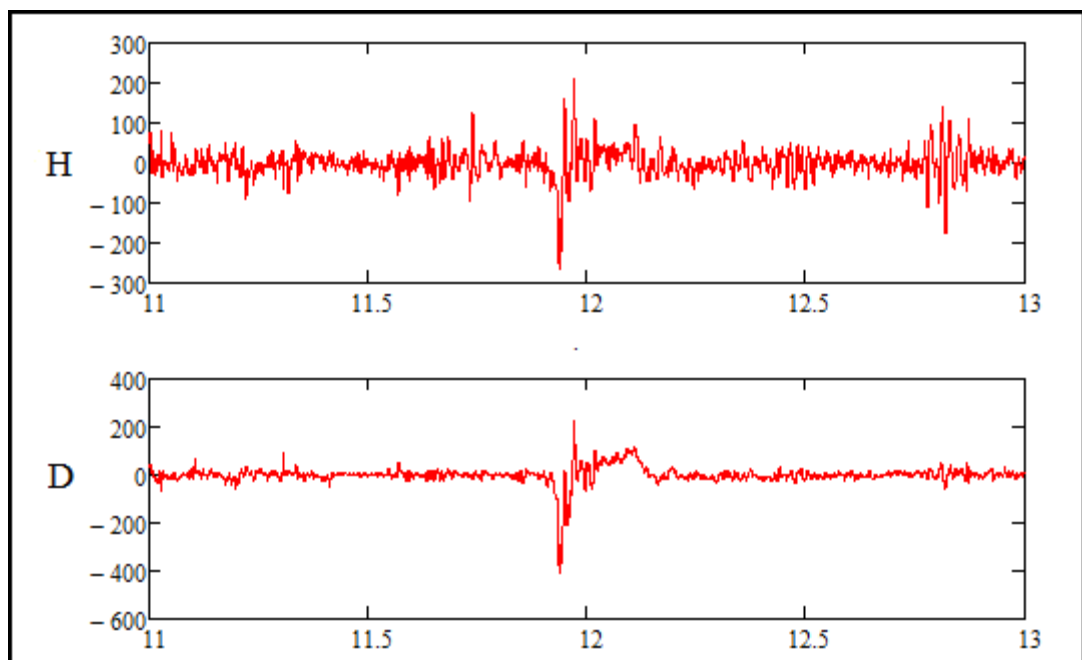


Рис.3.1. Магнітометричні дані 6 вересня 2017 року (H- та D-компоненти).

Наступного дня збуреність іоносфери зберігалася. Основні ефекти спостерігалися приблизно о 10 та о 23 годині. Амплітуда коливань о 10:00 складала 8 нТл у Н-компоненті та перевищувала 11 нТл у D-компоненті (див. додаток). Щодо стрибка амплітуди о 23 годині, то він складав приблизно 25 нТл у Н-компоненті та близько 10 нТл у D-компоненті.

8 вересня максимум амплітуди спостерігався о 14:20 та мав значення близько 25 та 18 нТл у Н- та D-компонентах відповідно. Слід зазначити тривалі зміни амплітуди у порівнянні з попередніми. Таке збурення спостерігалось протягом 4 годин і 30 хвилин. Крім того, значні відхилення відбувалися приблизно о 18:30, амплітуда яких складала 12 нТл у Н-компоненті та 15 нТл у D-компоненті.

9 вересня також спостерігалися флуктуації, але були слабші та не перевищували поділки 2 нТл.

12 вересня були помітні значні хвильові збурення о 20 годині, але тільки у Н-компоненті – з амплітудою близько 15нТл. Флуктуації у D-компоненті були не значними та не перевищували 2 нТл.

Досить важливе збільшення амплітуди відбувалося 14 вересня о 15:10. Амплітуда складала близько 10 нТл у Н-компоненті та 9 нТл у D-компоненті.

В інші дні сильних зростань амплітуди не спостерігалось, хоча були помітні невеликі збурення.

5. ВИСНОВКИ

1. Здійснення експериментальних результатів відіграє важливу роль для дослідження геокосмосу. Для вивчення іоносферних збурень потрібен системний підхід. Він дозволяє послідовно виявити окремий вплив багатьох факторів, які могли викликати ці іоносферні збурення в геокосмосі. В результаті експериментів досліджено різноманітні впливи акустичних збурень на процеси в іоносфері на верхній частині атмосфери Землі.

2. Магнітометричний метод пошуків, який використовувався в процесі досліджень, ґрунтується на вивченні магнітних аномалій в іоносфері, що виникають за умови розпаду старих ракет, землетрусів та різноманітних магнітних бур. За допомогою магнітометра було простежено перше зростання амплітуди флуктуації, її основні ефекти. У роботі також досліджується і аналізується стан космічної погоди.

3. Під час експериментального дослідження було проведено системний спектральний аналіз моделей геомагнітного поля у Н-D- компоненті, згодом здійснено обробку магнітометричних даних від початку до середини вересня 2017 року. А також застосовано фільтрування магнітометричних імпульсів у інтервалах періодів 10 – 100 с та 100 – 1000 с задля опрацювання результатів.

4. В ході роботи було відстежено стан космічної погоди за вересень 2017 року. Тут простежується збільшення електронної концентрації в іоносфері, її нагрівання, генерування варіації геомагнітного поля, акустико-гравітаційних хвиль, тощо. Також було розглянуто магнітну активність в екваторіальних широтах.

5. У роботі також визначаються основні параметри цугів хвиль, які викликаються аналізованими джерелами. Завдяки фізичним інтерпретаціям отриманих результатів з точки зору поширення від джерела декількох типів хвиль, було простежено окремі значення швидкостей хвилевих збурень на відстані глобального масштабу, які узгоджуються зі швидкостями акустико-гравітаційних хвиль, а також сейсмічних і повільних МГД-хвиль.

6. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черногор Л. Ф. Радиофізичні та геомагнітні ефекти стартів ракет/ Черногор Л. Ф. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. – 386 с.
2. Космічний проєкт "Іоносат – Мікро" : монографія/ Під заг. ред. С. А. Засухи, О. П. Федорова. – К.: Академперіодика, 2013. – 218 с.
3. Черногор Л. Ф., Домін І. Ф. Фізика геокоsmічних бурь : монографія / Л. Ф. Черногор, І. Ф. Домін. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2014.

7.ДОДАТОК

СИСТЕМНИЙ СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВАРІАЦІЙ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПІД ЧАС МАГНІТНОЇ БУРІ 6–14 ВЕРЕСНЯ 2017 РОКУ

6 вересня 2017 року

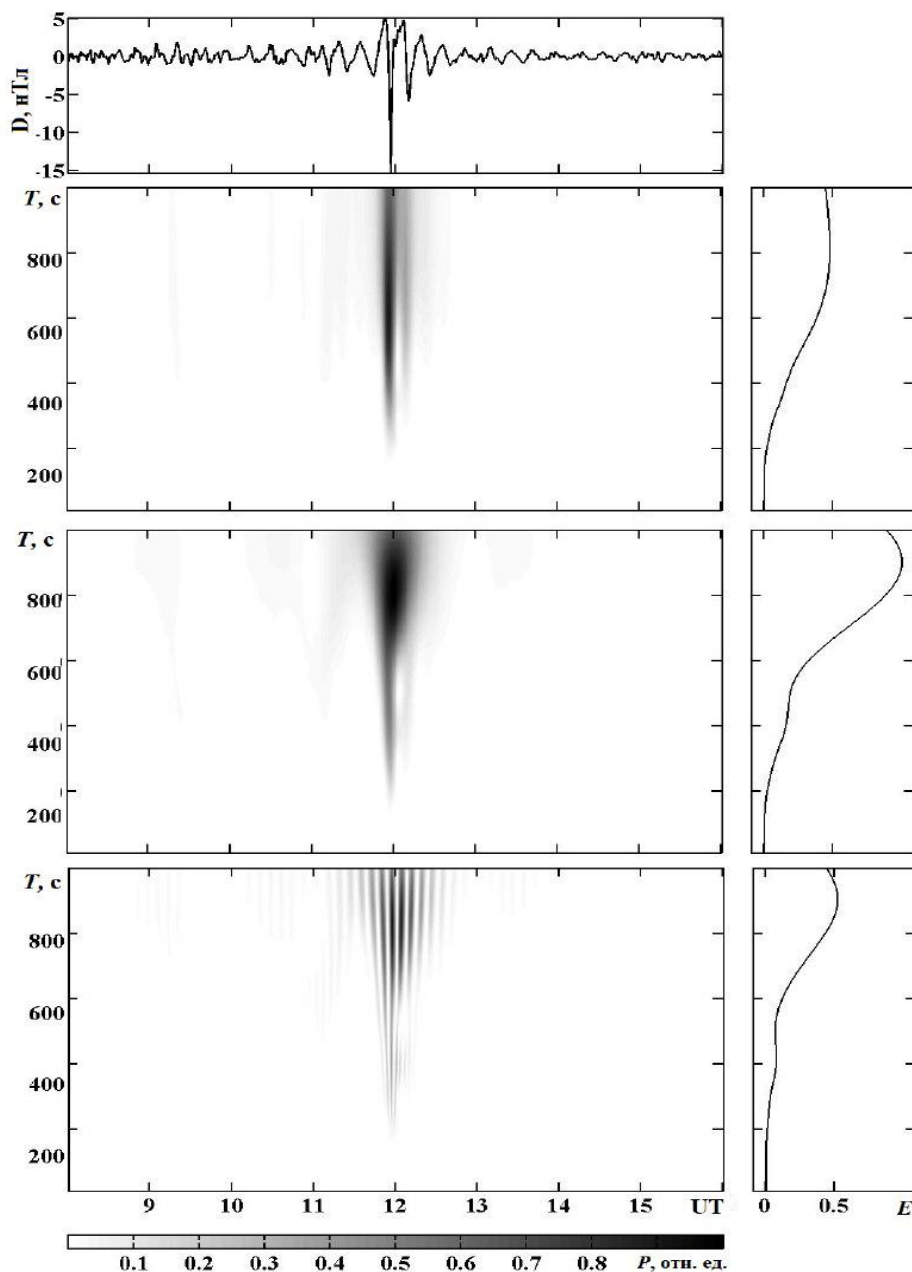


Рис.7.1. Часові варіації рівня D-компоненти геомагнітного поля, відповідні спектри та енергограми (розподіл середньої енергії коливань за періодами у діапазоні періодів 1000-1000с)

6 вересня 2017 року

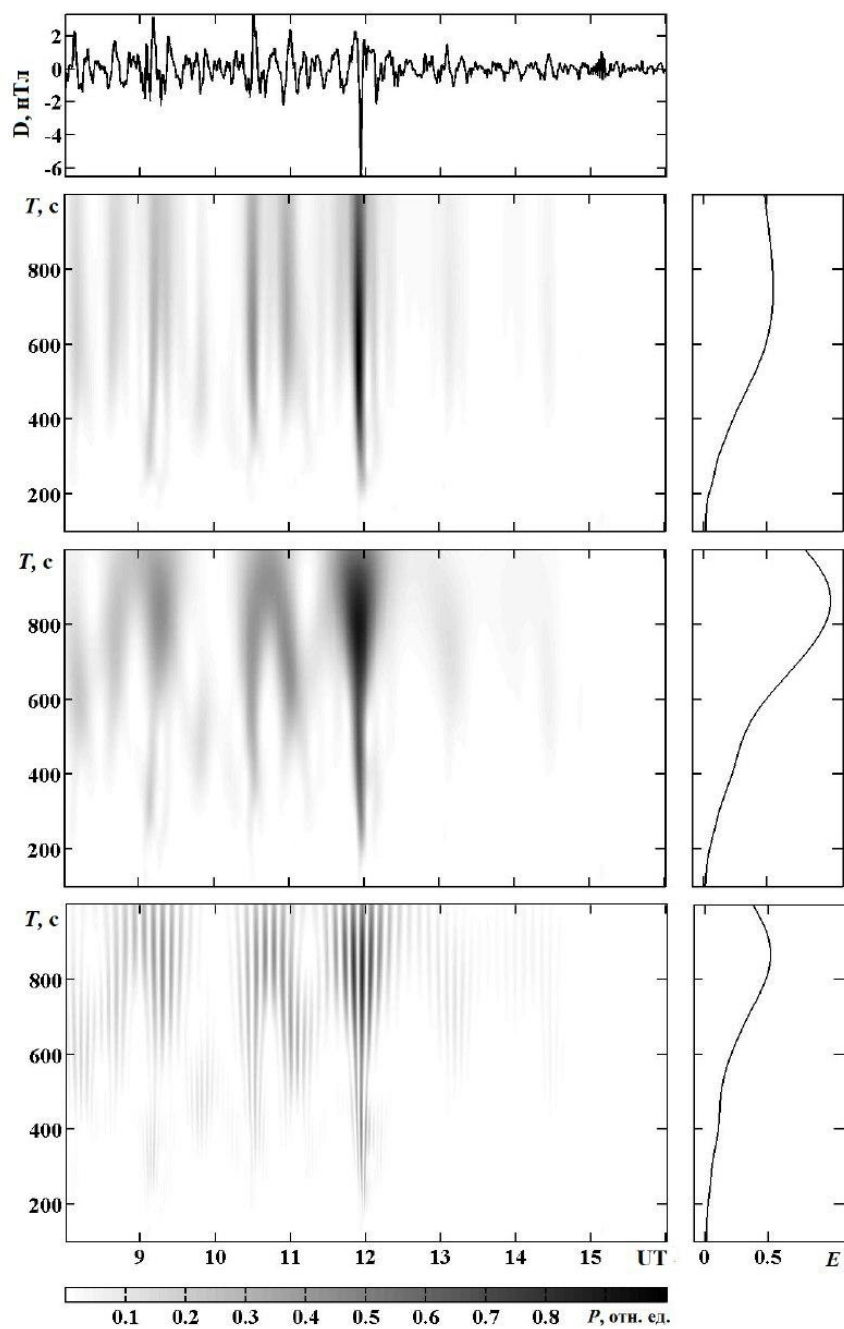


Рис.7.2. Часові варіації рівня Н-компоненти геомагнітного поля, відповідні спектри та енергограми (розподіл середньої енергії коливань за періодами у діапазоні періодів 1000-10000с)

7 вересня 2017 року

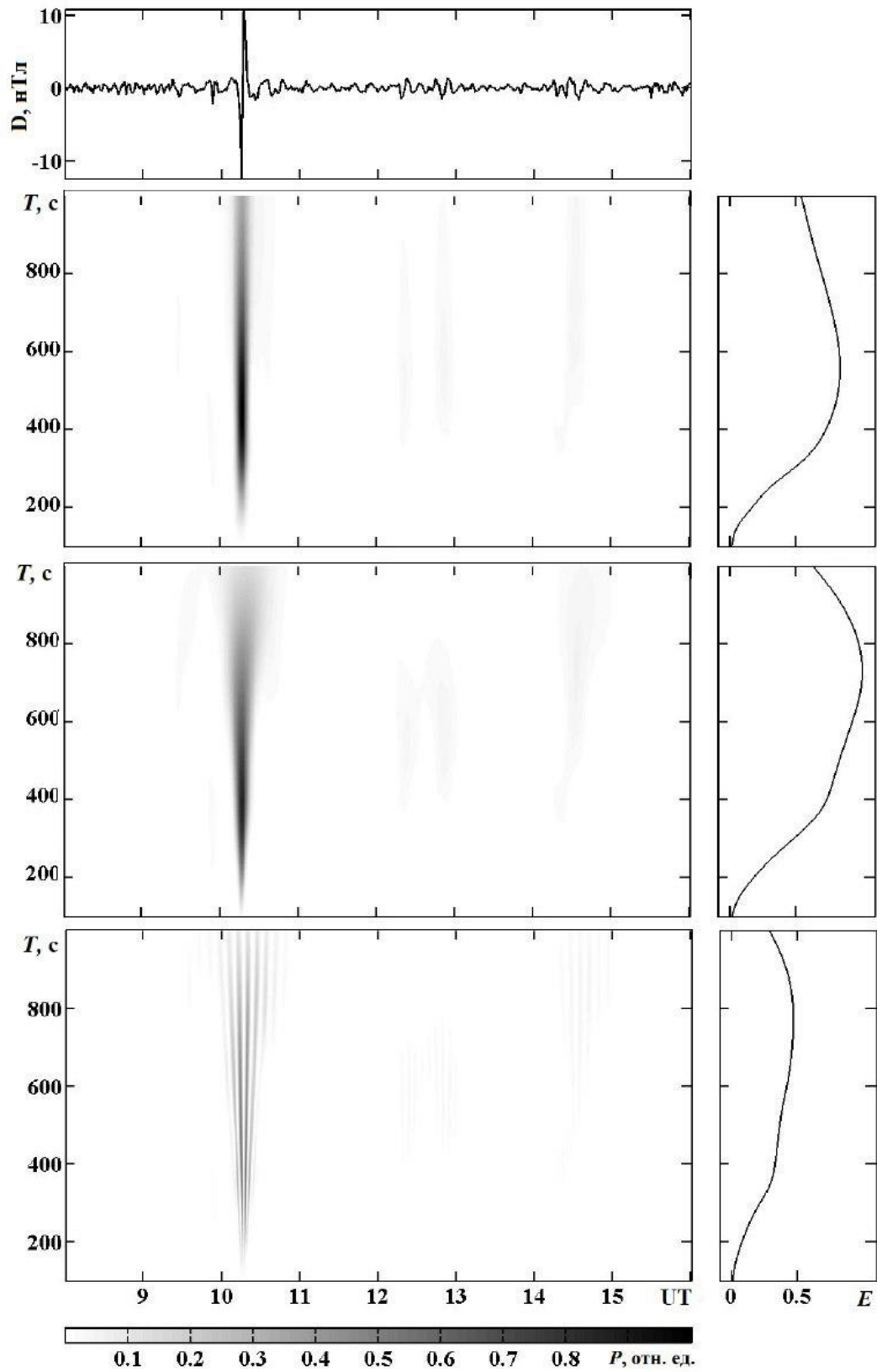


Рис.7.3.

7 вересня 2017 року

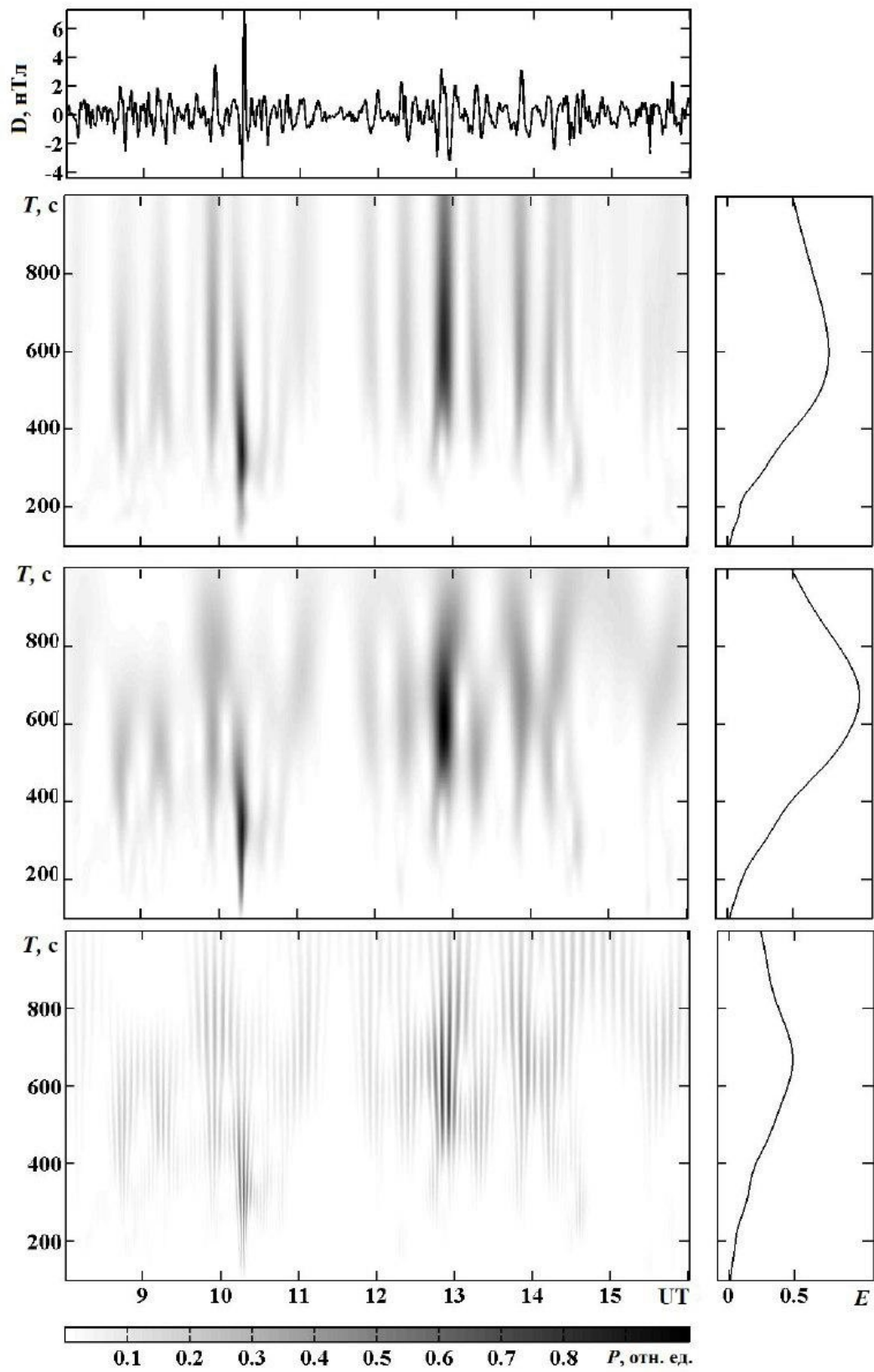


Рис.7.4.

7 вересня 2017 року

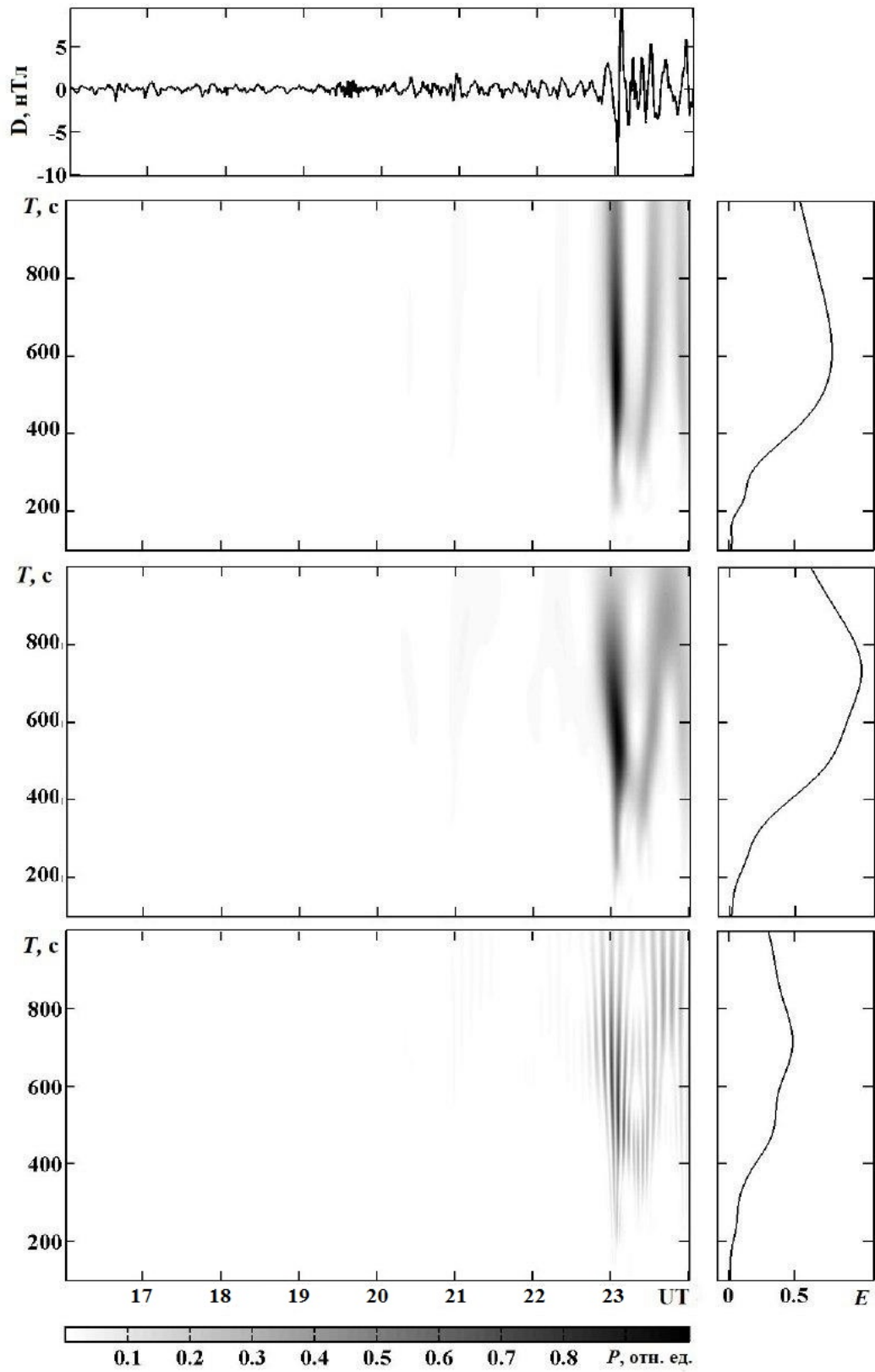


Рис.7.5.

7 вересня 2017 року

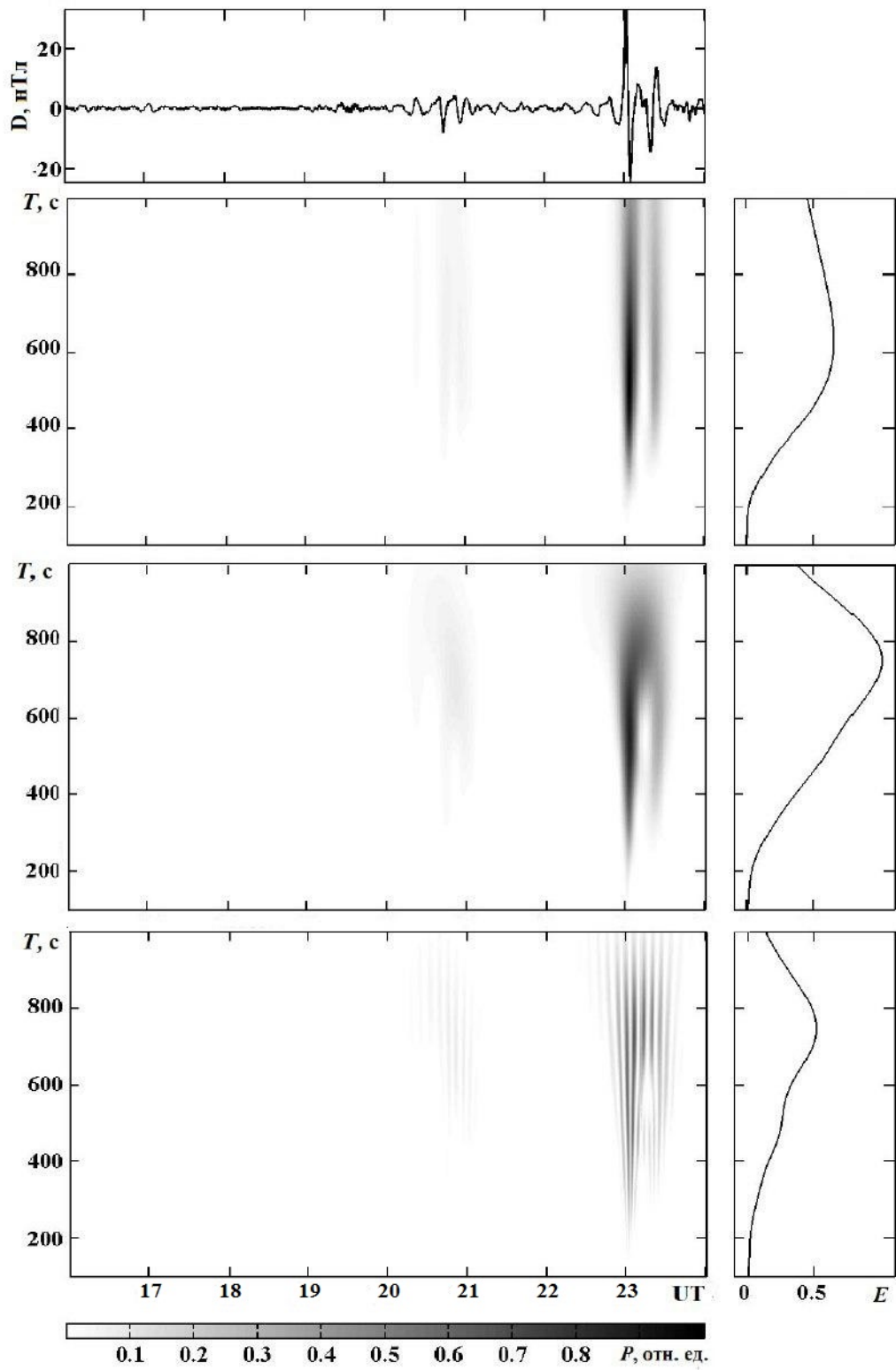


Рис.7.6.

8 вересня 2017 року

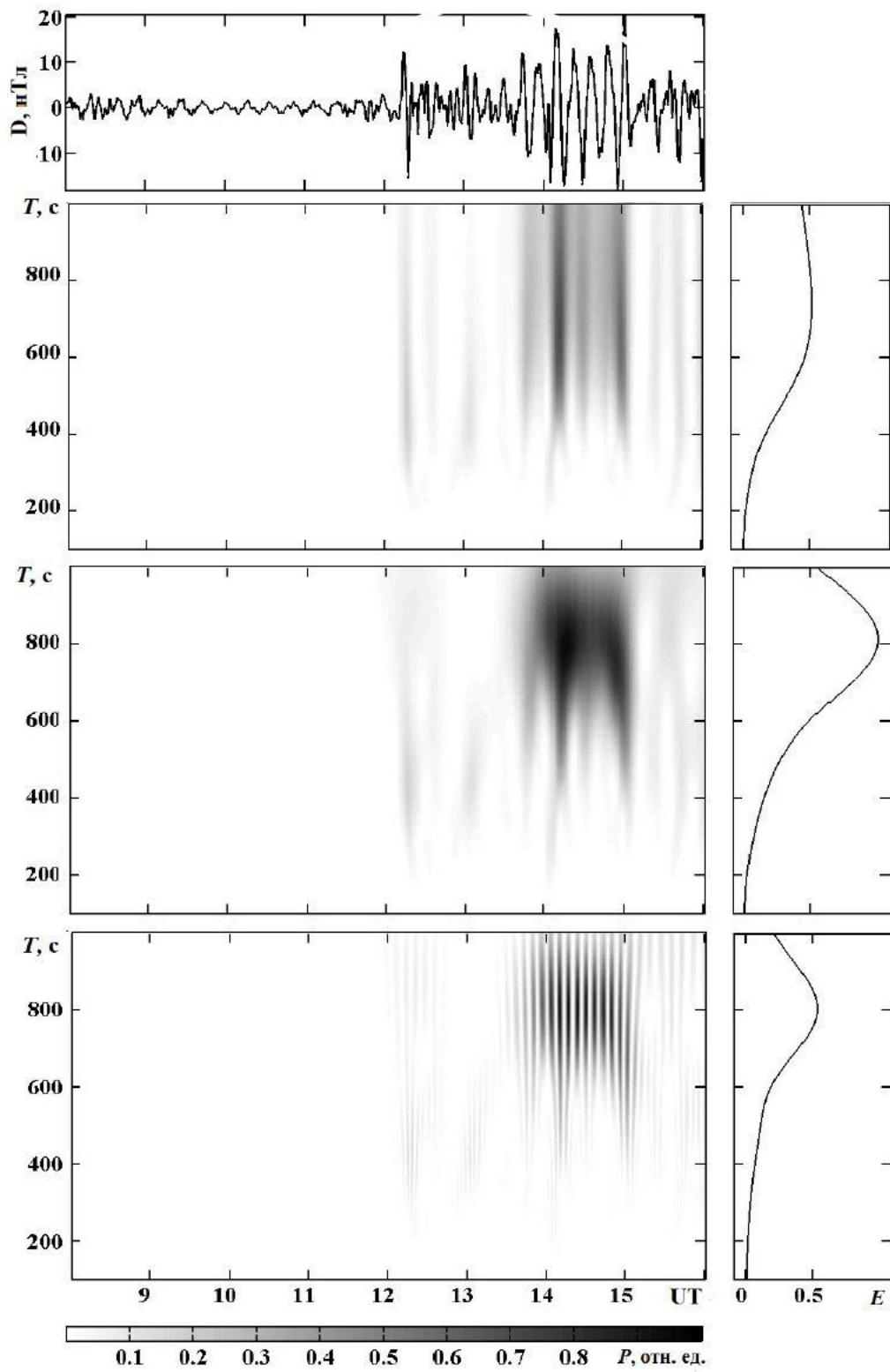


Рис.7.7.

8 вересня 2017 року

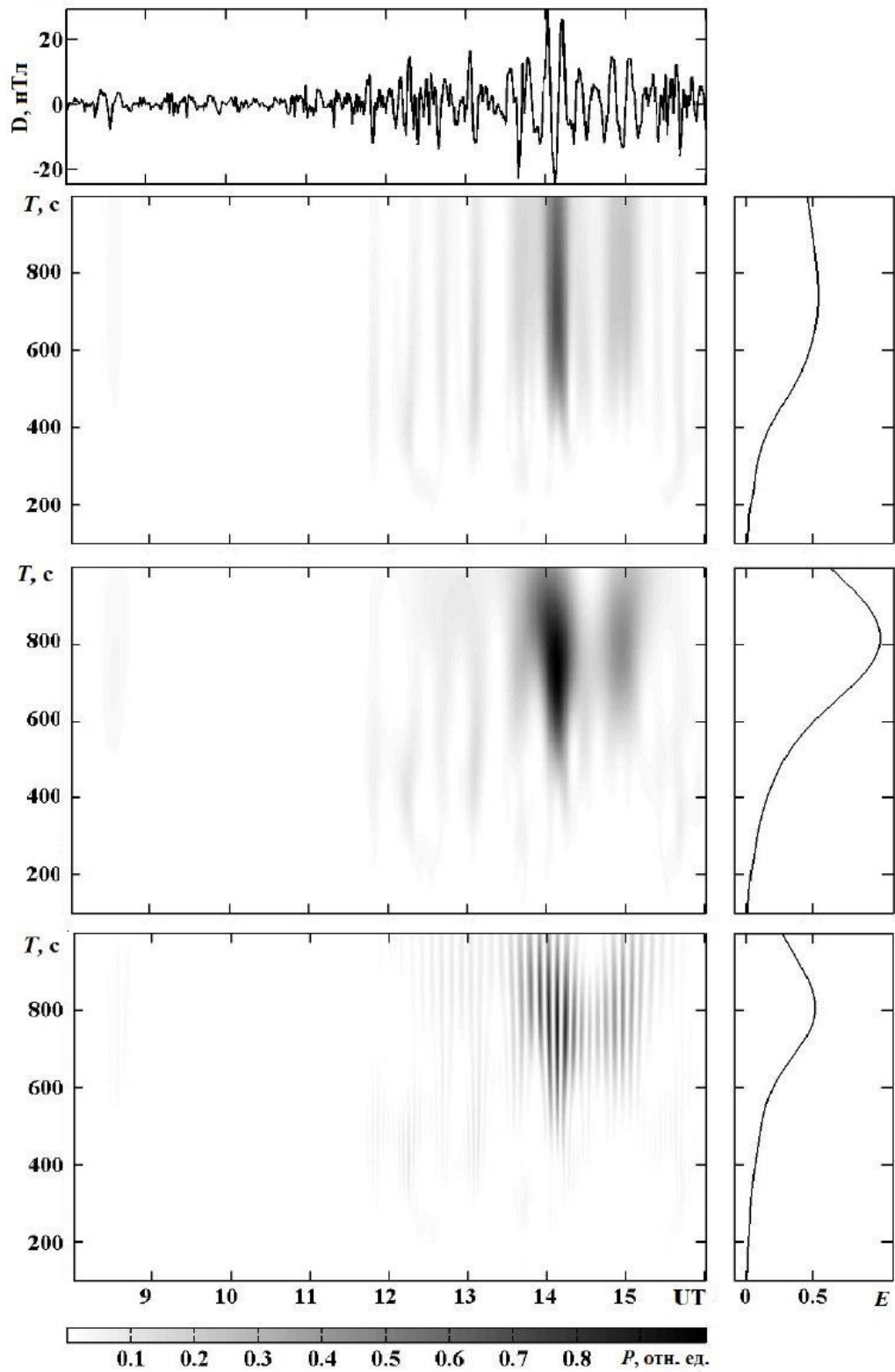


Рис.7.8.

8 вересня 2017 року

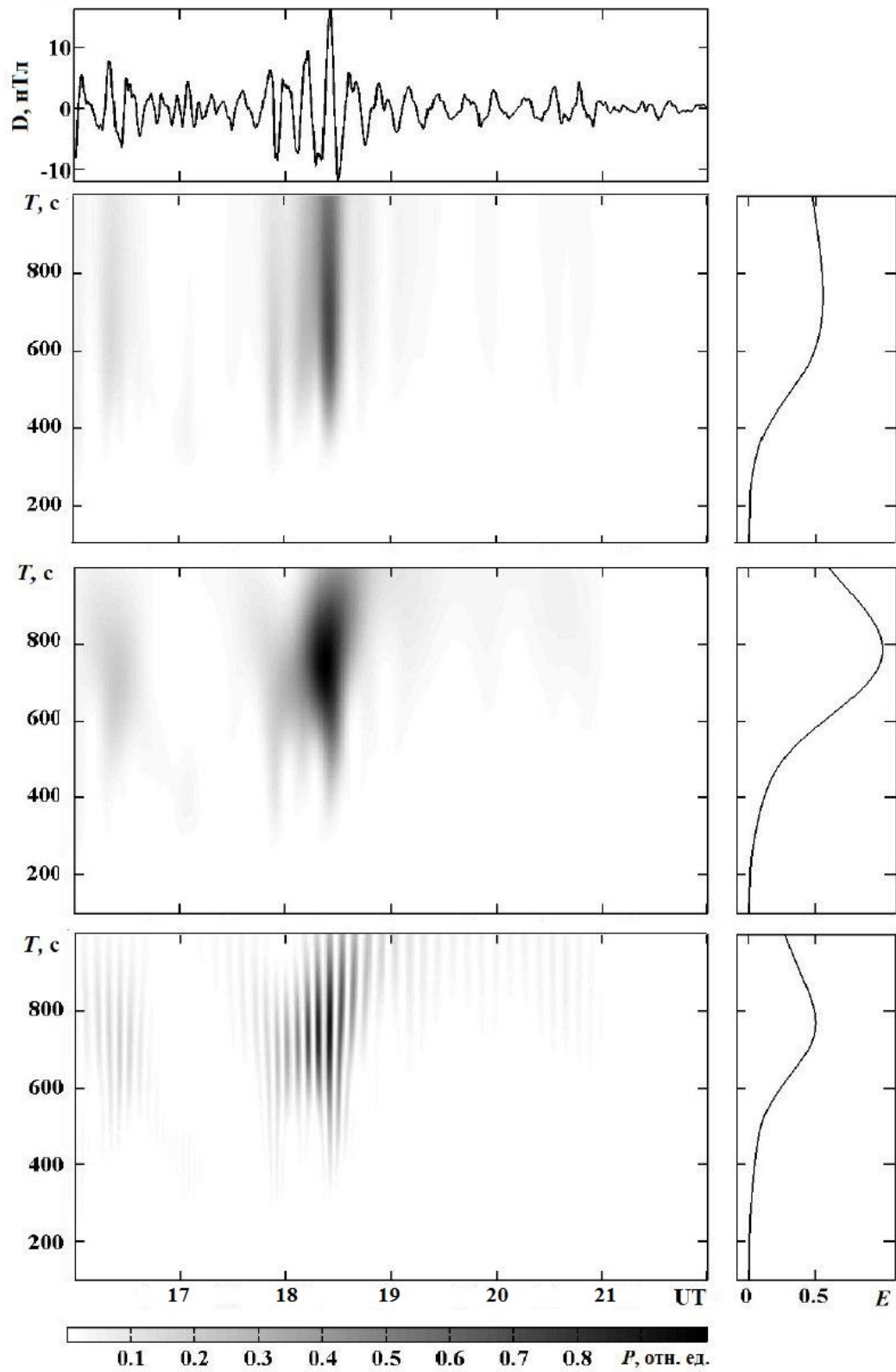


Рис.7.9.

8 вересня 2017 року

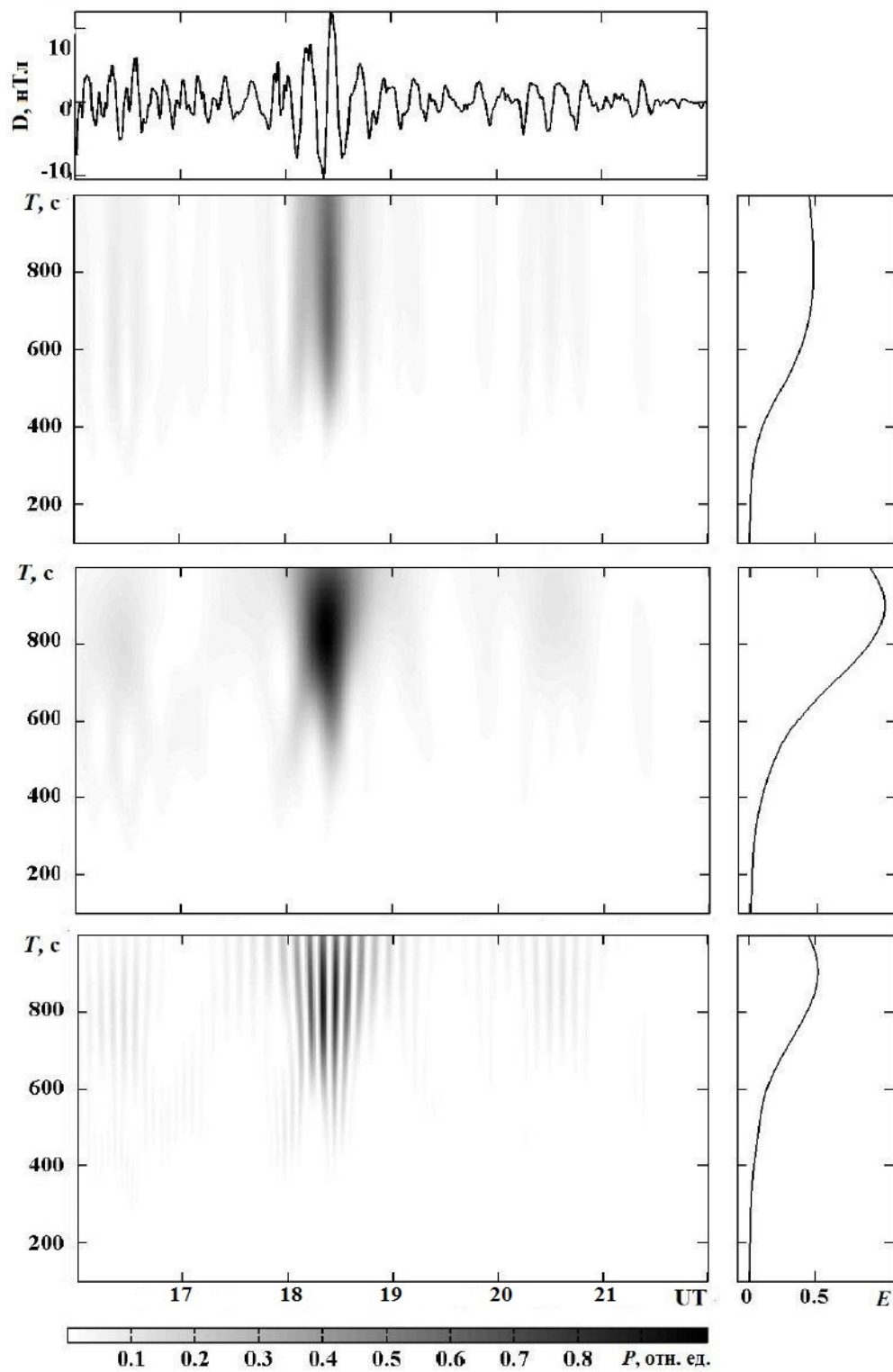


Рис.7.10

9 вересня 2017 року

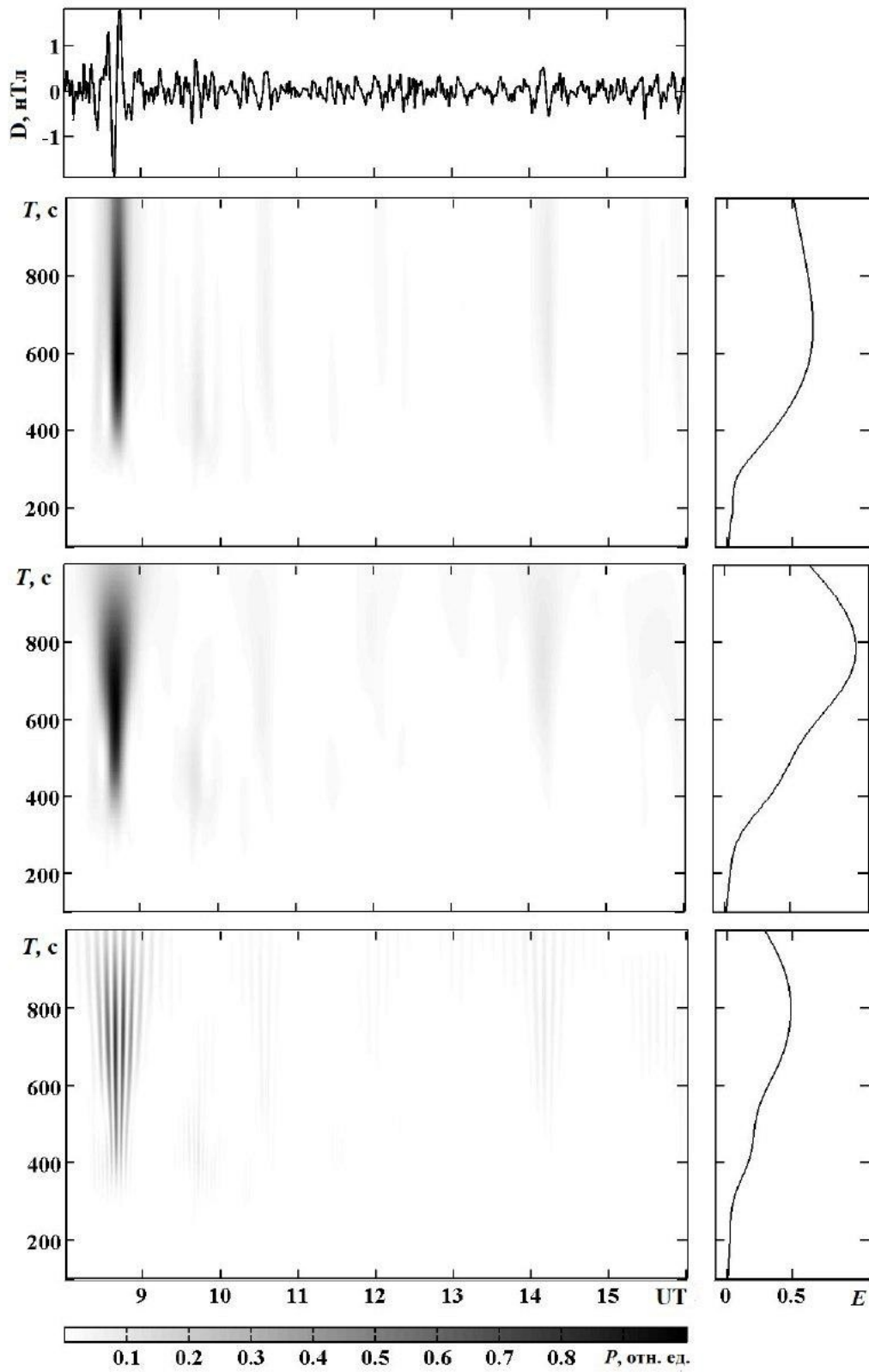


Рис.7.11.

9 вересня 2017 року

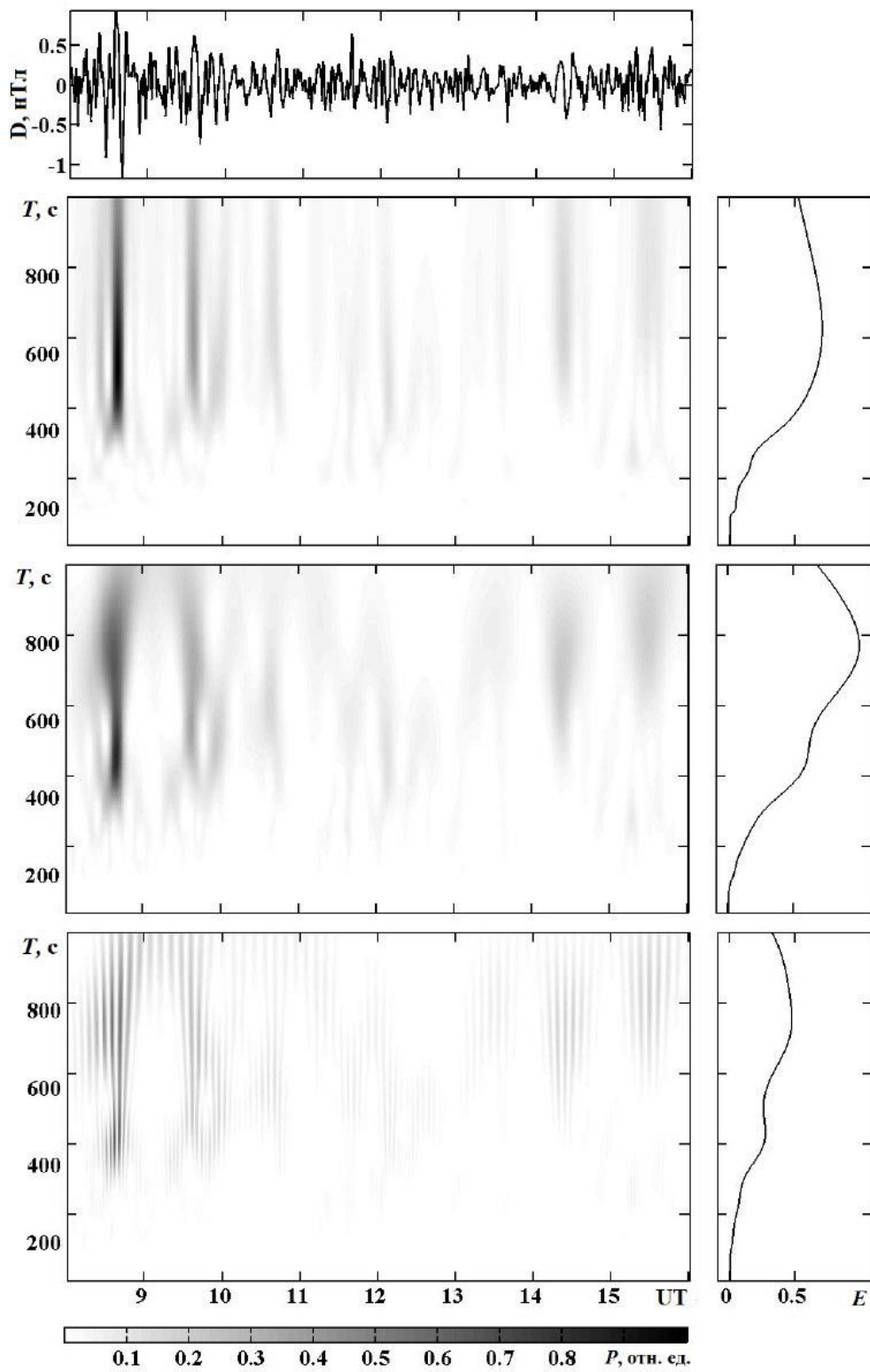


Рис.7.12.

12 вересня 2017 року

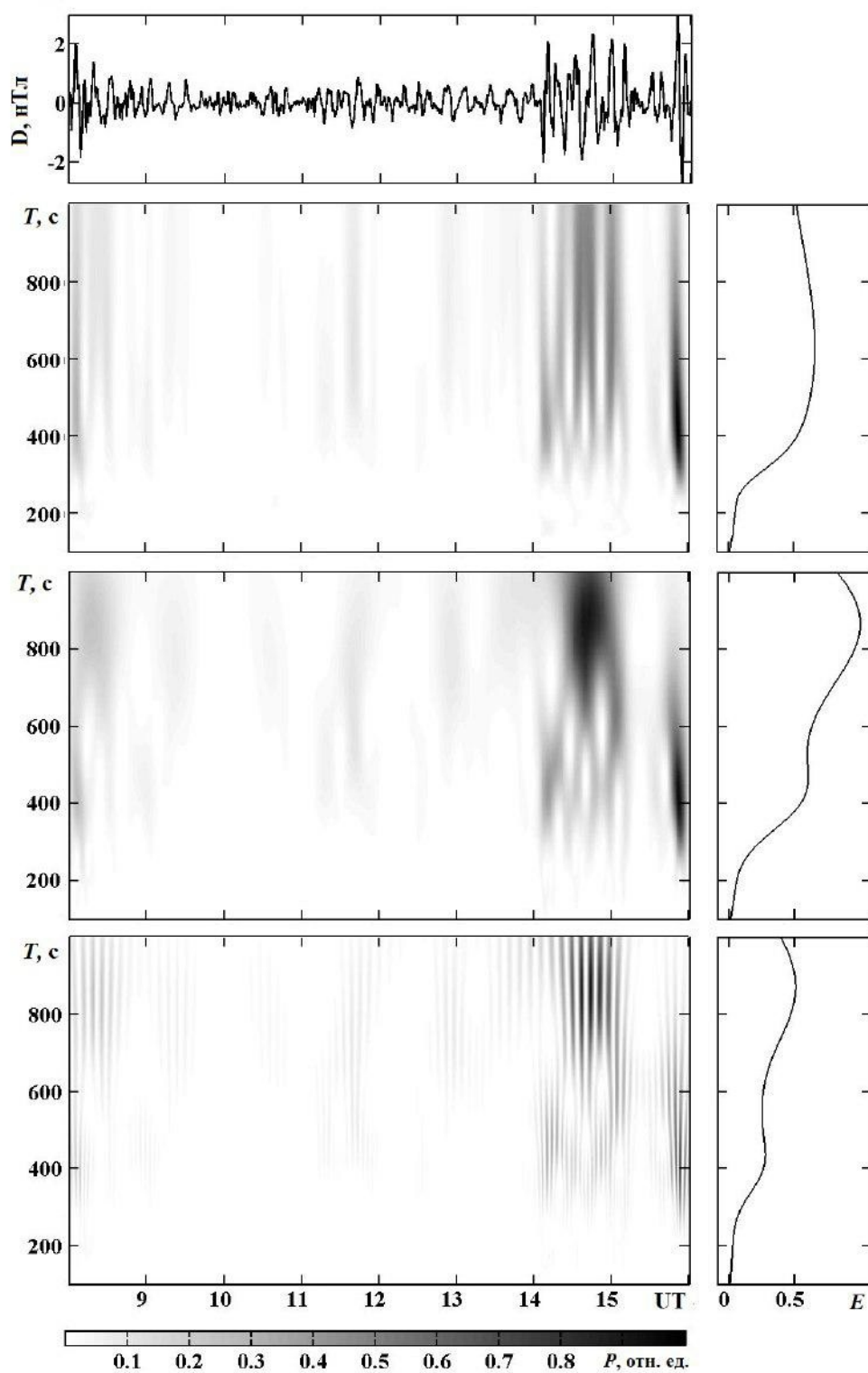


Рис.7.13.

12 вересня 2017 року

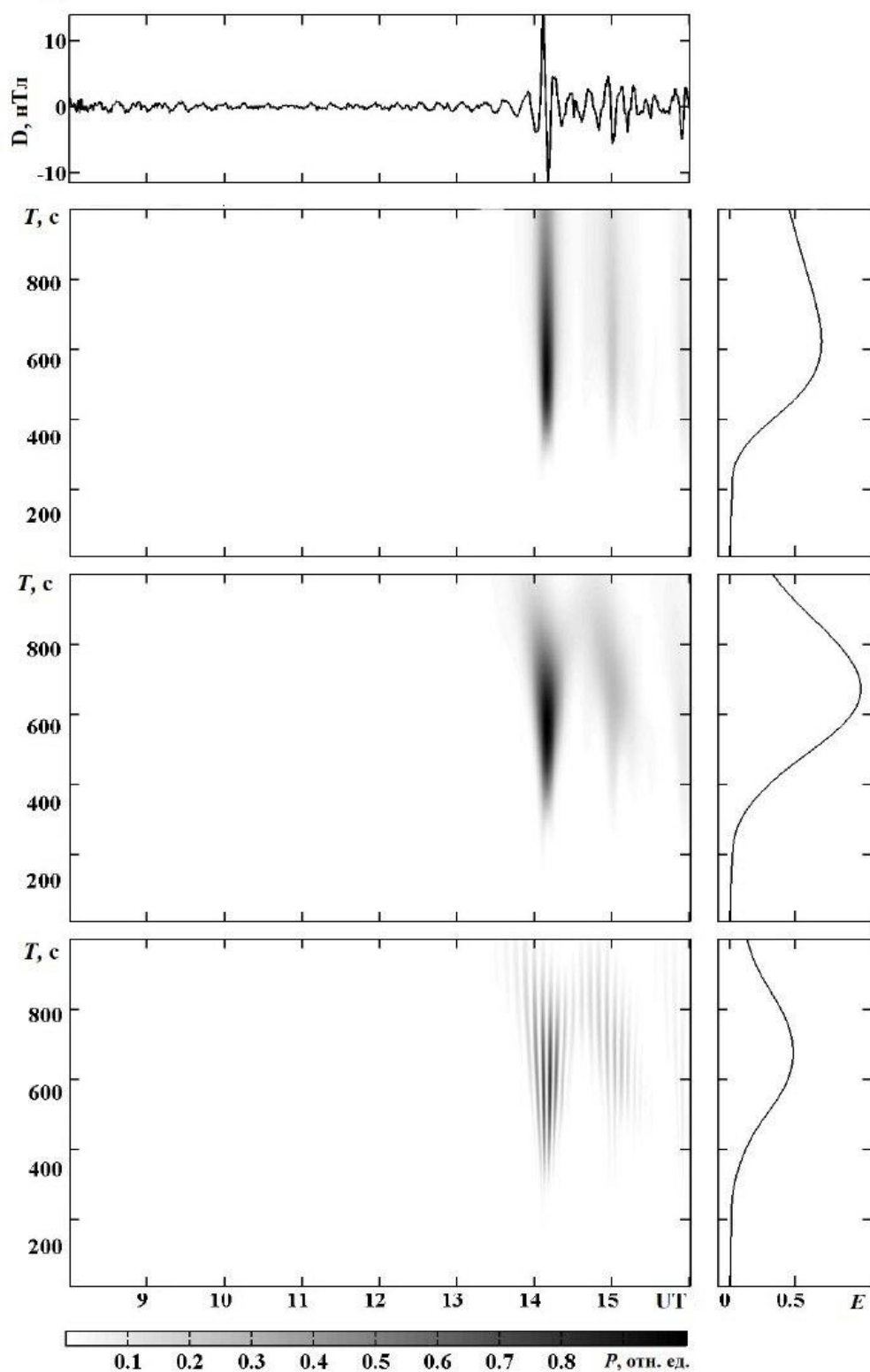


Рис.7.14.

14 вересня 2017 року

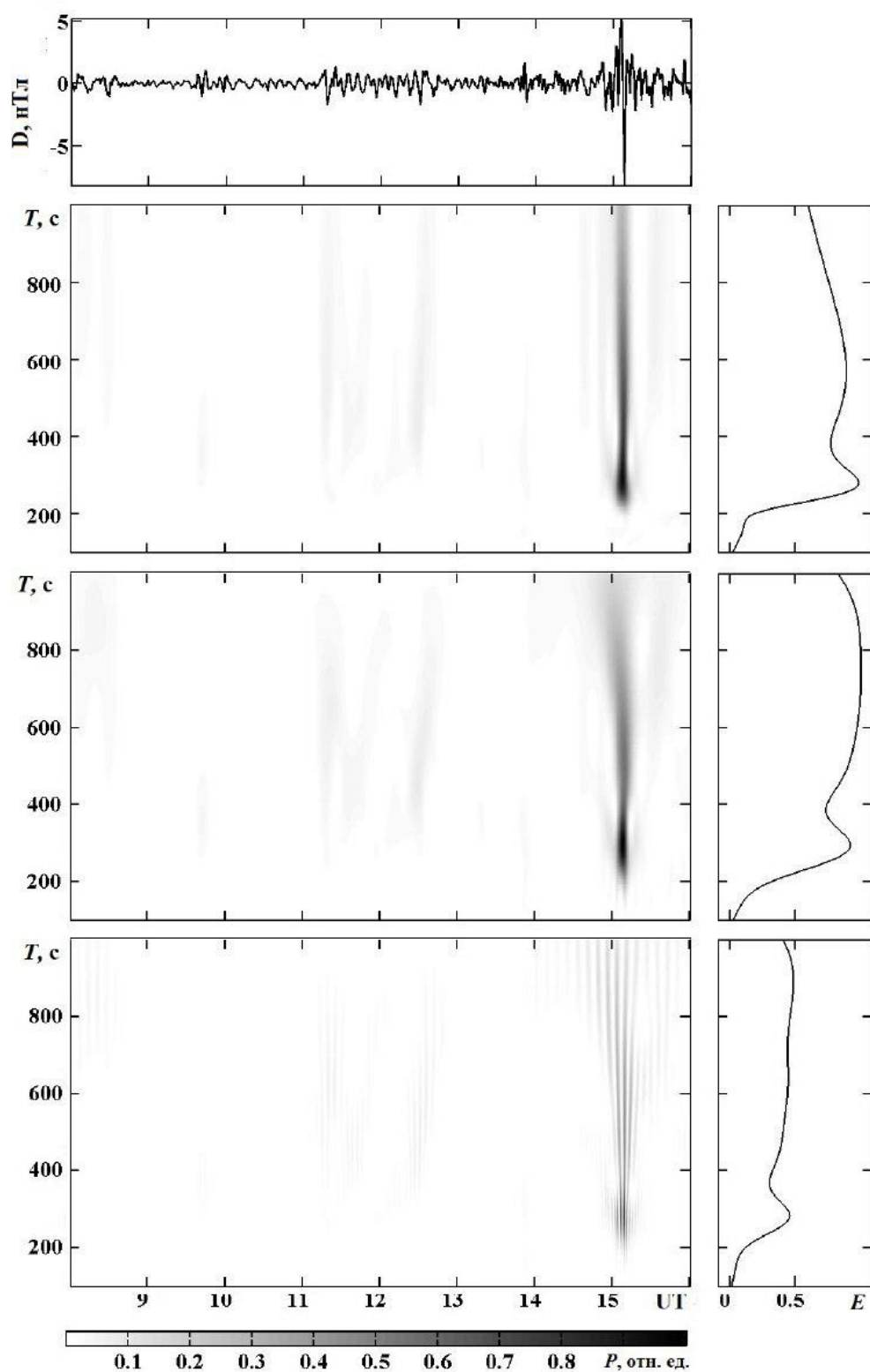


Рис.7.15.

14 вересня 2017 року

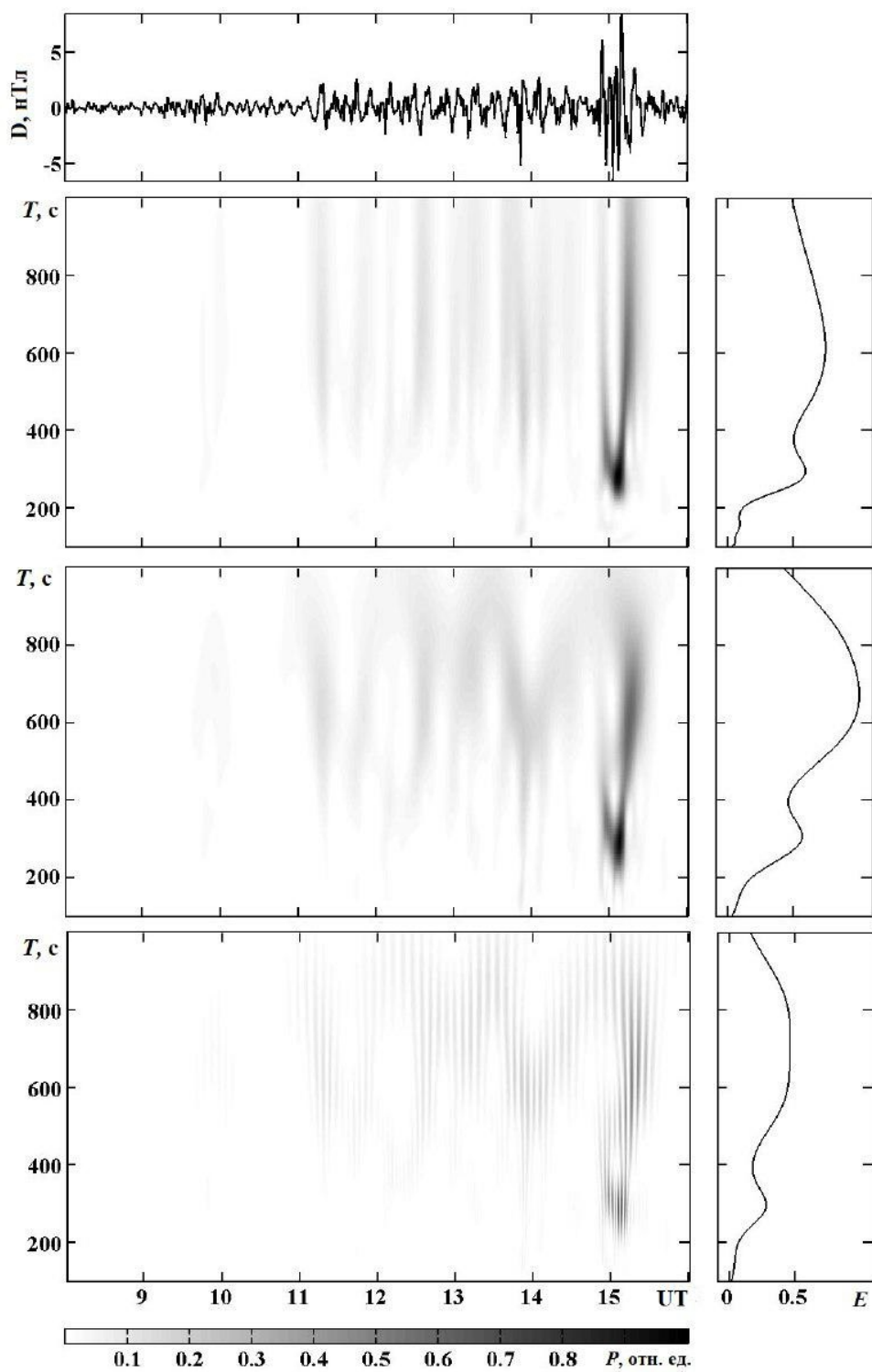


Рис.7.16.