

SONDAREA IONOSFEREI CU SEMNALE MODULATE LINIAR ÎN FRECVENȚĂ

Plohotniuc Eugen, Pascaru Mihail

Sunt prezentate rezultatele sondării ionosferei pe traseele Ioșcar-Ola–Bălți, Dușanbe–Bălți și Habarovsk–Bălți cu semnale modulate liniar în frecvență. Iradierea cu o putere de 200 W și recepția semnalelor modulate liniar în frecvență a fost efectuată în banda de frecvențe 1...30 MHz cu o viteză de baleere a frecvenței $df/dt = 483,3$ kHz/s. Au fost obținute dependențele frecvențelor maxime și minime de propagare în timpul zilei pentru modelele 1F2, 2F2 și 3F2, dependențele intervalului monomod de propagare a semnalului radio de timpul zilei și dependențele intensității semnalului recepționat de frecvență și timp.

Приводятся результаты зондирования ионосферы на трассах Йошкар-Ола – Бэлць, Душанбе – Бэлць и Хабаровск – Бэлць посредством линейно-частотно-модулированных сигналов. Излучение с мощностью 200 Вт и приём сигналов были осуществлены в полосе частот 1...30 МГц при скорости изменения частоты $df/dt = 483,3$ кГц/с. Получены зависимости величин максимальных и минимальных наблюдаемых частот от времени для 1F2, 2F2 и 3F2 мод, зависимости полосы одномодового режима распространения от времени и зависимости интенсивности принимаемого сигнала от частоты и времени.

The results of taking soundings of ionosphere on the routes Ioshcar-Ola-Balti, Dushanbe-Balti, and Habarovsk-Balti with linear-frequency-modulated signals are presented. Irradiation with power 200 W and reception of signals were carried out in the frequency band 1...30 MHz by frequency change speed $df/dt = 483.3$ kHz/s. Dependences of maximum and minimum magnitudes of observed frequencies on time for 1F2, 2F2, and 3F2 modes, dependences of one-mode propagation regime bands on time, and dependences of intensity of received signal on frequency and time are obtained.

Sondarea oblică a ionosferei în banda de frecvențe 1...30 MHz pe trasee cu lungimi mari prezintă interes din punct de vedere al controlului operativ și pronosticului condițiilor de propagare prin ionosferă în scară regională și planetară și, adăugător, din punctul de vedere al cercetării mecanismelor propagării undelor radio scurte pe trasee cu lungimi mari.

Pentru cercetarea ionosferei a fost organizată o rețea de stații ionosferice cu semnale modulate liniar în frecvență (MLF), care include trei trasee, prezentate în fig. 1: Ioșcar-Ola–Bălți (1670 km); Dușanbe–Bălți (3380 km); Habarovsk–Bălți (7120 km).

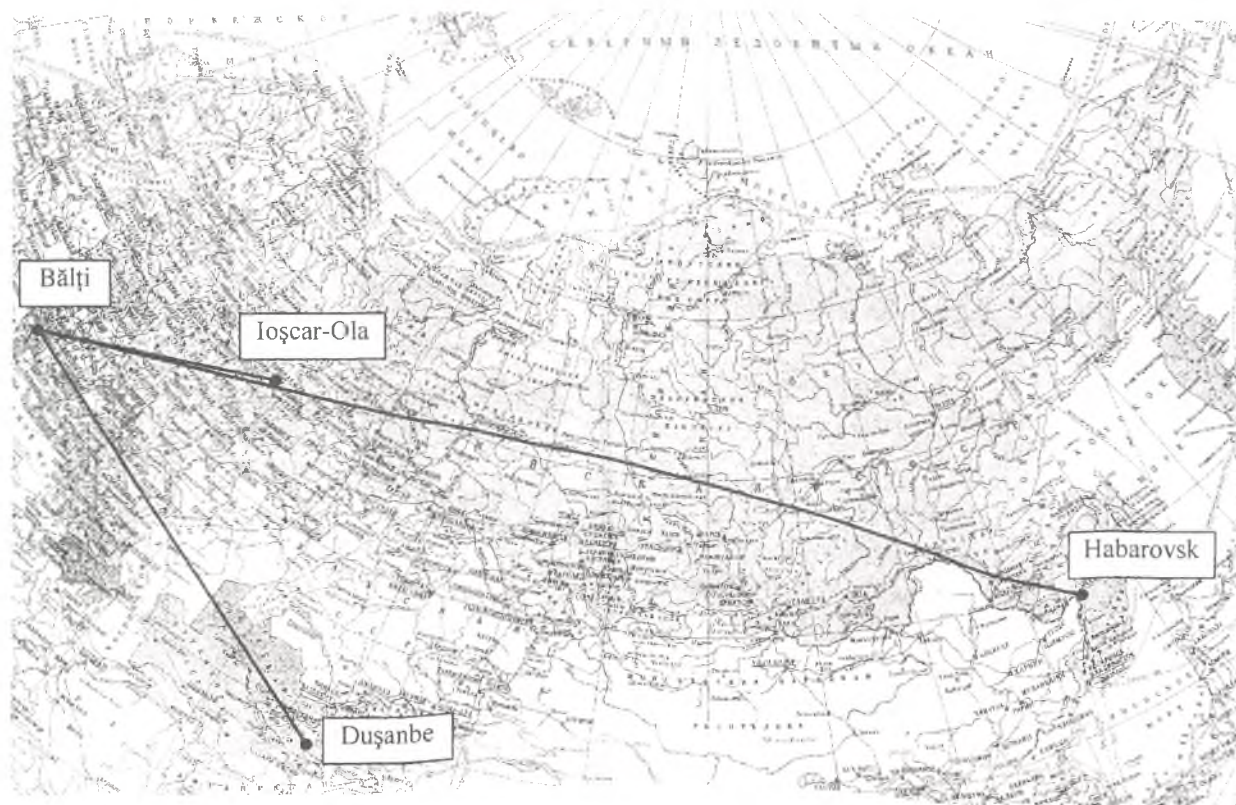


Fig. 1. Rețeaua de stații ionosferice de tip MLF.

Sondarea ionosferei pe traseele Ioșcar-Ola-Bălți, Dușanbe-Bălți și Habarovsk-Bălți a fost efectuată în noiembrie – decembrie 1991. Iradierea și recepția semnalelor MLF a fost efectuată în banda de frecvențe 1...30 MHz cu o viteză de baleere a frecvenței $df/dt = 483,3$ kHz/s. Iradierea semnalelor MLF a fost îndeplinită din Ioșcar-Ola, Dușanbe și Habarovsk cu o putere de 200 W pe antena rombică RG 65/4 – 1 (h = 19 m), iar recepția în or. Bălți cu ajutorul antenei rombice RG 65/4 – 1 (h = 18 m). În punctul de recepție era înregistrat semnalul radio de propagare directă conform metodicii prezentate în lucrarea [1].

Măsurările au fost efectuate în regim non stop (24 ore pe zi). Înregistrarea unei ionograme era îndeplinită într-o perioadă de timp $t = 1$ min. Pentru fiecare oră de lucru au fost înregistrate de la 5 pînă la 15 ionograme. În perioada noiembrie – decembrie au fost obținute peste 2500 de ionograme.

Ionogramele obținute au demonstrat caracterul multimod de propagare a semnalelor radio.

Pentru traseele Ioșcar-Ola-Bălți, Dușanbe-Bălți și Habarovsk-Bălți au fost obținute următoarele caracteristici:

1. dependența frecvenței maximele de propagare de timpul zilei pentru modelele semnalului radio 1F2, 2F2 și 3F2;
2. dependența frecvenței minimele de propagare de timpul zilei pentru modelele semnalului radio 1F2, 2F2 și 3F2;
3. dependența intervalului monomod de propagare a semnalului radio de timpul zilei;
4. dependențele intensității semnalului recepționat de frecvență și timpul zilei.

1. Caracteristicile traseului Ioșcar-Ola – Bălți

În fig. 2 este prezentat, drept exemplu, o ionogramă obținută pe data de 10.12.1991 la ora 11h15, unde: P – puterea semnalului recepționat; t – timpul; f – frecvența semnalului. Pe această ionogramă deosebim trei mode ale semnalului de sondare, care corespund diferitor lungimi a traseelor ionosferice și, respectiv, diferitor momente de timp al recepției. Drept exemplu, pentru frecvența $f = 15$ MHz, semnalul modei 3F2 este recepționat cu 550 μ s mai târziu în comparație cu momentul recepționării semnalului modei 1F2 și cu 350 μ s mai târziu în comparație cu momentul recepționării semnalului modei 2F2. În afară de aceasta, pe ionogramă deosebim regiunea regimului multimod de propagare a semnalului radio prin ionosferă (regiunea A de la 6 MHz pînă la 22,5 MHz) și regiunea regimului monomod de propagare (regiunea B de la 22,5 MHz pînă la 29 MHz).

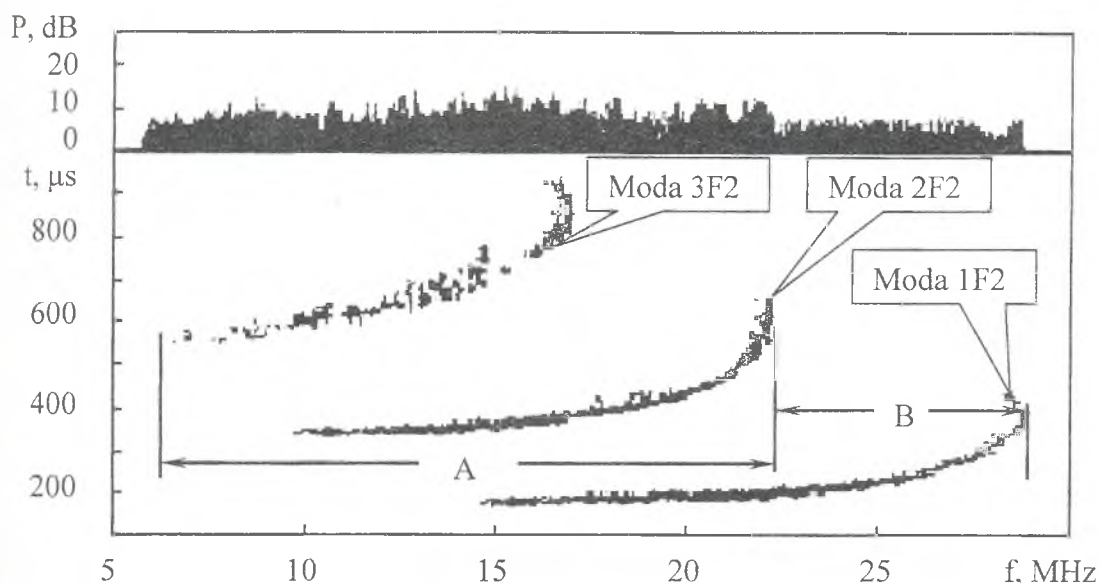


Fig. 2. Ionograma obținută pe data de 10.12.1991 la ora 11h 15' pe traseul Ioșcar-Ola – Bălți:

- A – regim multimod de propagare a semnalului radio prin ionosferă;
 B – regim monomod de propagare a semnalului radio prin ionosferă.

În fig. 3 sunt prezentate dependențele frecvenței maxime de propagare f_{max1F2} și frecvenței minime de propagare f_{min1F2} de timp pentru moda 1F2, construite pe baza rezultatelor obținute în perioada 21.11.91 - 17.12.91. În intervalul de timp 10h00'...12h00' frecvențele f_{max1F2} și f_{min1F2} pentru moda 1F2 ating valori maxime, respectiv $f_{max1F2} \approx 27$ MHz, iar $f_{min1F2} \approx 10$ MHz. Pentru orele 7h00'...11h00' are loc creșterea f_{max1F2} de la 13 MHz pînă la 27 MHz cu $\sim 4,6$ MHz/oră, iar pentru orele 12h00'...16h00' are loc micșorarea f_{max1F2} de la 27 MHz pînă la 10 MHz cu $\sim 4,25$ MHz/oră.

Viteza creșterii f_{min1F2} pentru orele 7h00'...10h00' și descreștere pentru orele 12h00'...16h00' este de ordinul 1,3 MHz/oră.

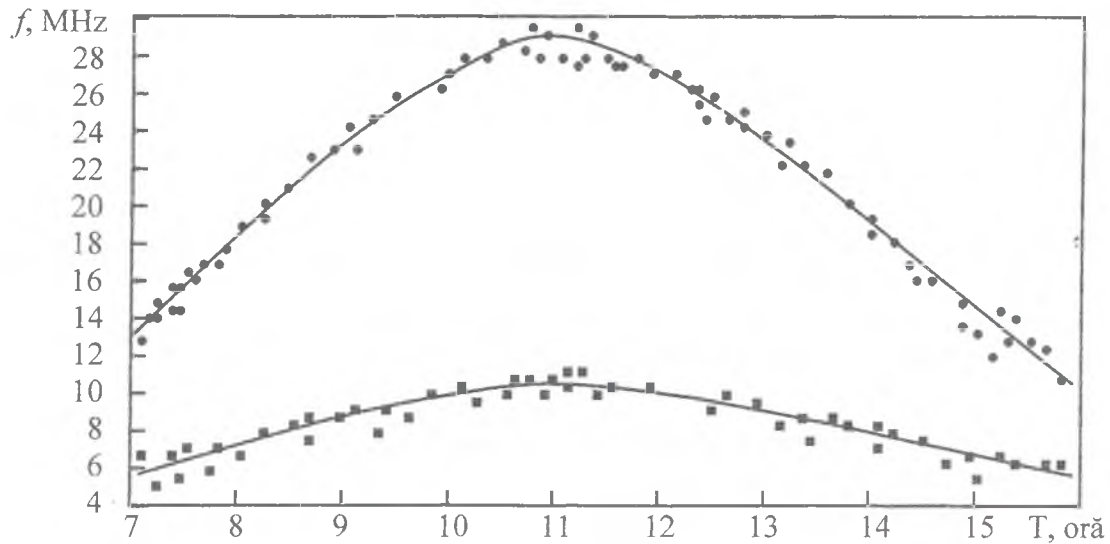


Fig. 3. Dependentele frecvenței maxime de propagare f_{max1F2} (*) și frecvenței minime de propagare f_{min1F2} (*) de timp pentru moda 1F2 pe traseul Ioșcar-Ola - Bălți.

În fig. 4 sunt prezentate dependențele frecvenței maxime de progresare f_{max2F2} și frecvenței minime de propagare f_{min2F2} de timp pentru moda 2F2, construite pe baza rezultatelor obținute în perioada 21.11.91 - 17.12.91.

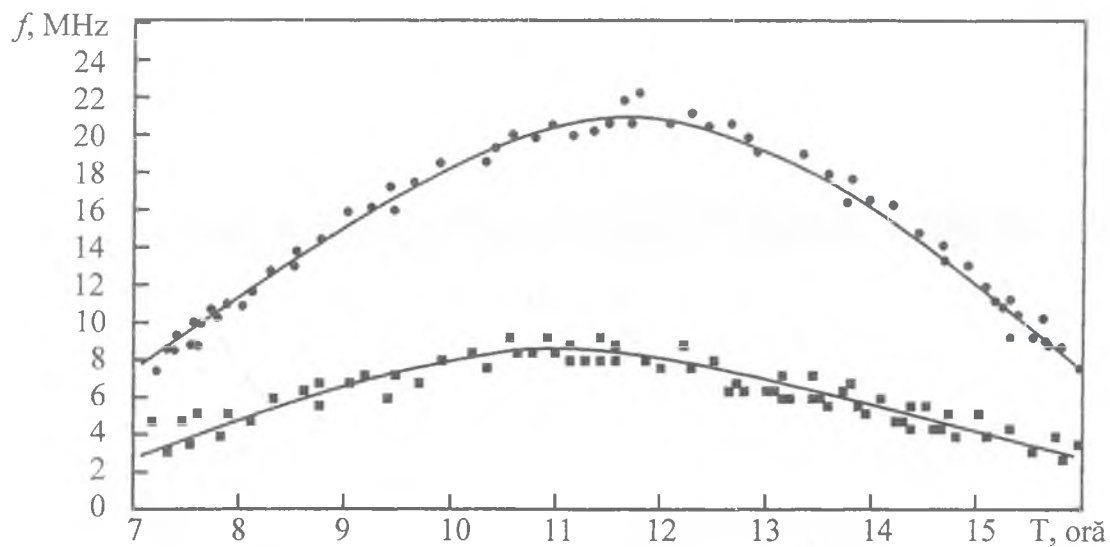


Fig. 4. Dependentele frecvenței maxime de propagare f_{max2F2} (*) și frecvenței minime de propagare f_{min2F2} (*) de timp pentru moda 2F2 pe traseul Ioșcar-Ola - Bălți.

Frecvențele f_{max2F2} și f_{min2F2} au valori maxime, respectiv $f_{max2F2} \approx 18$ MHz, iar $f_{min2F2} \approx 8$ MHz în intervalul de timp 11h30'...12h30'. În orele de dimineață 7h00'...11h00' f_{max2F2} crește cu 3,3 MHz/oră, iar pentru orele 12h00'...15h00' f_{max2F2} se micșorează cu $\sim 3,7$ MHz/oră.

Frecvența f_{min2F2} pentru intervalul de timp 7h00'...11h00' crește cu 1,0 MHz/oră, iar pentru intervalul de timp 12h00'...15h00' descrește cu 1,3 MHz/oră.

În fig. 5 sunt prezentate dependențele frecvenței maxime de propagare f_{max3F2} și frecvenței minime de propagare f_{min3F2} de timp pentru moda 3F2, construite pe baza rezultatelor obținute în perioada 21.11.91 - 17.12.91.

Frecvențele f_{max3F2} și f_{min3F2} au valori maxime, respectiv $f_{max3F2} \approx 14$ MHz, iar $f_{min3F2} \approx 8$ MHz în intervalul de timp 11h30'...12h30'. În orele de dimineață 7h00'...11h00' f_{max3F2} crește cu ~ 1 MHz/oră, iar pentru orele 12h00'...15h00' f_{max3F2} se micșorează tot cu ~ 1 MHz/oră. Frecvența f_{min3F2} pentru aceleași intervale de timp crește cu ~ 0,9 MHz/oră și descrește cu ~ 0,8 MHz/oră.

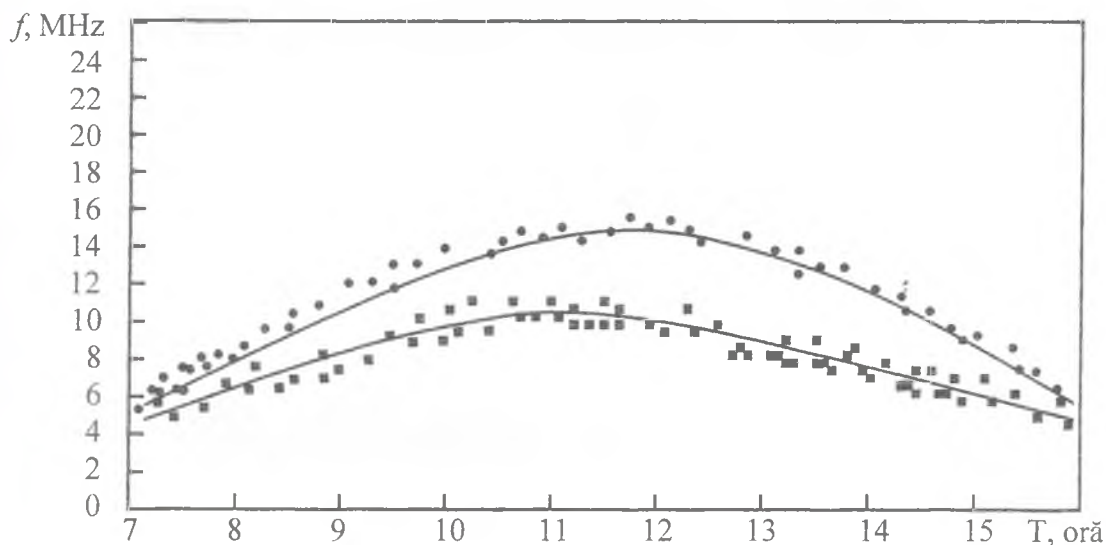


Fig. 5. Dependențele frecvenței maxime de propagare f_{max3F2} (*) și frecvenței minime de propagare f_{min3F2} (▪) de timp pentru moda 3F2 pe traseul Ioșcar-Ola - Bălți.

În fig. 6 este prezentată dependența intervalului de frecvențe a regimului monomod de propagare $\Delta f = f_{max1F2} - f_{max2F2}$ pentru data de 10.12.91. Regimul monomod de propagare a undelor radio prin ionosferă prezintă pierderi considerabil mai mici în comparație cu regimul multimod de propagare. În cazul traseului Ioșcar-Ola - Bălți, intervalul de frecvențe a regimului monomod de propagare poate fi utilizat pentru organizarea legăturilor radio în intervalul de timp 7h00'...13h00'.

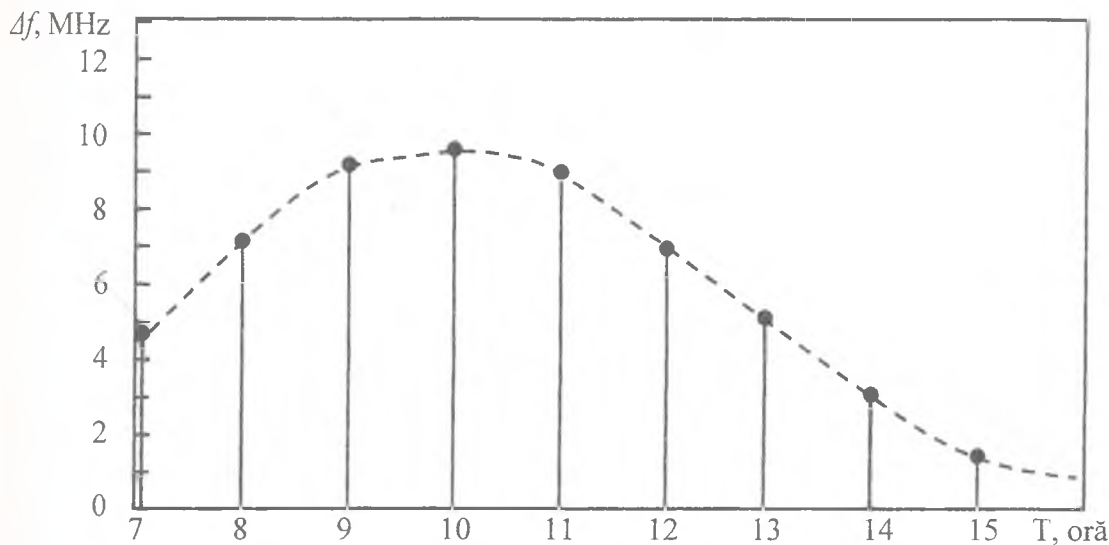


Fig. 6. Dependența intervalului de frecvențe a regimului monomod de propagare $\Delta f = f_{max1F2} - f_{max2F2}$ de timp pentru traseul Ioșcar-Ola - Bălți.

În fig. 7 este prezentată dependența intensității semnalului radio recepționat pe data de 10.12.1991 de frecvență. Valoarea medie a semnalului recepționat în banda de frecvențe 6...30 MHz este $\sim 46 \mu\text{V}$.

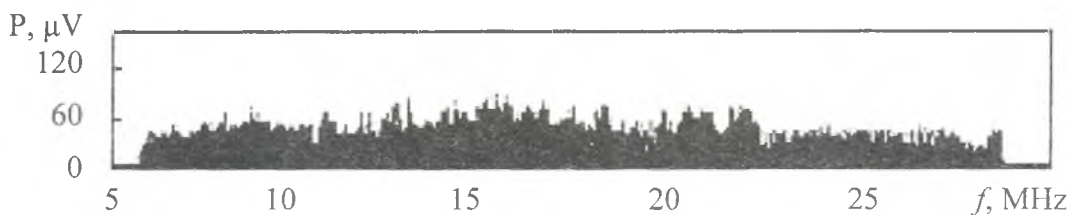


Fig. 7. Dependenta intensității semnalului recepționat la 10.12.91 de frecvență pentru traseul Ioșcar-Ola – Bălți.

2. Caracteristicile traseului Dușambe-Bălți

În fig. 8 este prezentat un exemplu al ionogramei obținute pe data de 10.12.1991 la ora 10h30' pentru traseul Dușambe-Bălți.

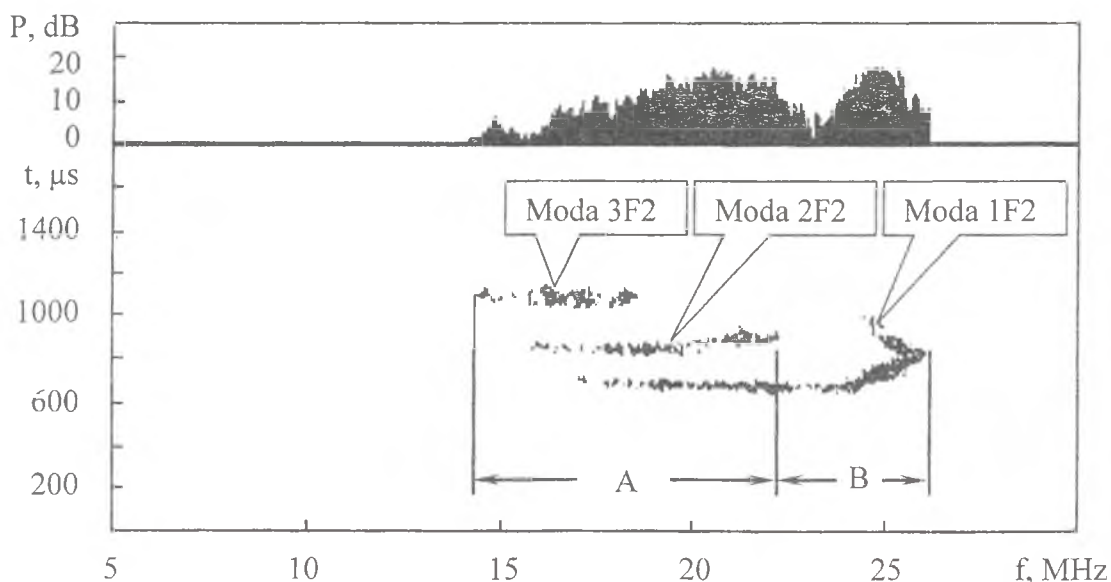


Fig. 8. Ionograma obținută pe data de 10.12.1991 la ora 10h 30' pe traseul Dușambe – Bălți:
A – regim multimod de propagare a semnalului radio prin ionosferă;
B – regim monomod de propagare a semnalului radio prin ionosferă.

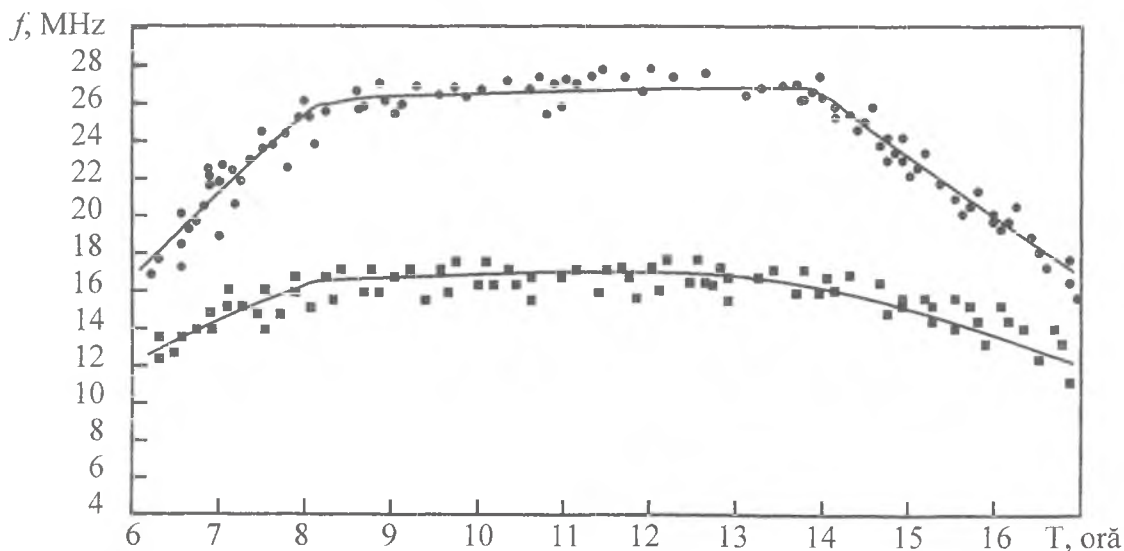


Fig. 9. Dependentele frecvenței maxime de propagare $f_{\max 1F2}$ (•) și frecvenței minime de propagare $f_{\min 1F2}$ (◻) de timp pentru moda 1F2 pe traseul Dușambe – Bălți.

În fig. 9 sunt prezentate dependențele frecvenței maxime de propagare f_{max1F2} și frecvenței minime de propagare f_{min1F2} de timp pentru moda 1F2, construite pe baza rezultatelor obținute în perioada 21.11.91 - 17.12.91. În intervalul de timp 8h30'...14h30' frecvențele f_{max1F2} și f_{min1F2} pentru moda 1F2 ating valori maxime, respectiv $f_{max1F2} \approx 27$ MHz, iar $f_{min1F2} \approx 16$ MHz.

Pentru orele 6h00'...9h00' are loc creșterea f_{max1F2} de la 16 MHz pînă la 27 MHz cu $\sim 3,7$ MHz/oră, iar pentru orele 14h00'...17h00' are loc micșorarea f_{max1F2} de la 27 MHz pînă la 13 MHz cu $\sim 4,7$ MHz/oră.

Viteza creșterii f_{min1F2} pentru orele 6h00'...9h00' și descreșterii pentru orele 14h00'...17h00' este de ordinul 1,3 MHz/oră.

În fig. 10 sunt prezentate dependențele frecvenței maxime de progresare f_{max2F2} și frecvenței minime de progresare f_{min2F2} de timp pentru moda 2F2, construite pe baza rezultatelor obținute în perioada 21.11.91 - 17.12.91.

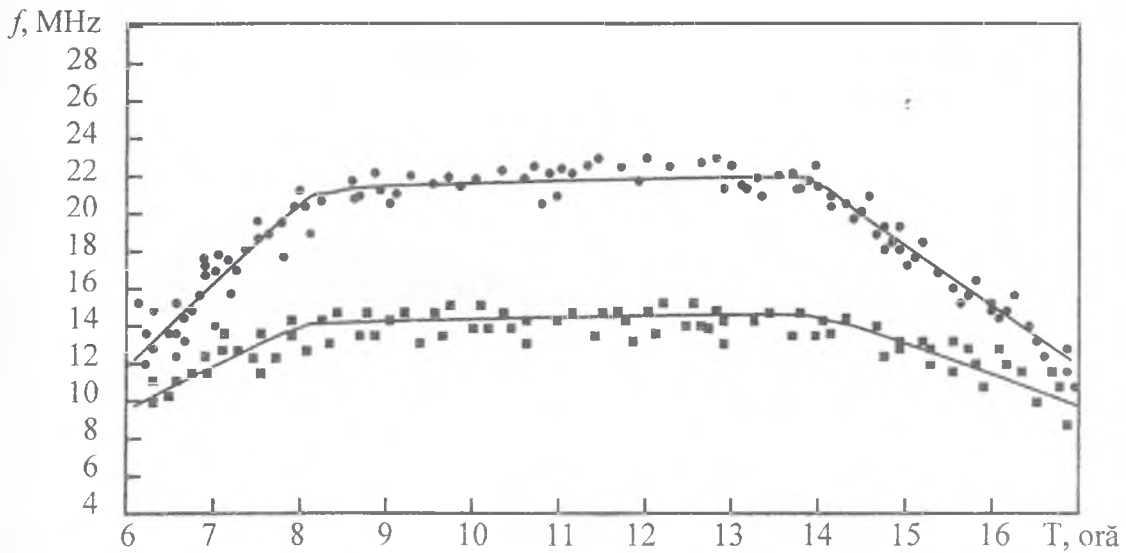


Fig. 10. Dependentele frecvenței maxime de propagare f_{max2F2} (•) și frecvenței minime de propagare f_{min2F2} (◻) de timp pentru moda 2F2 pe traseul Dușanbe - Bălți.

Frecvențele f_{max2F2} și f_{min2F2} au valori maxime, respectiv $f_{max2F2} \approx 21$ MHz, iar $f_{min2F2} \approx 14$ MHz în intervalul de timp 9h30'...14h30'. În orele de dimineață 6h00'...9h00' f_{max2F2} crește cu 3,0 MHz/oră, iar pentru orele 14h00'...17h00' f_{max2F2} se micșorează cu $\sim 3,6$ MHz/oră.

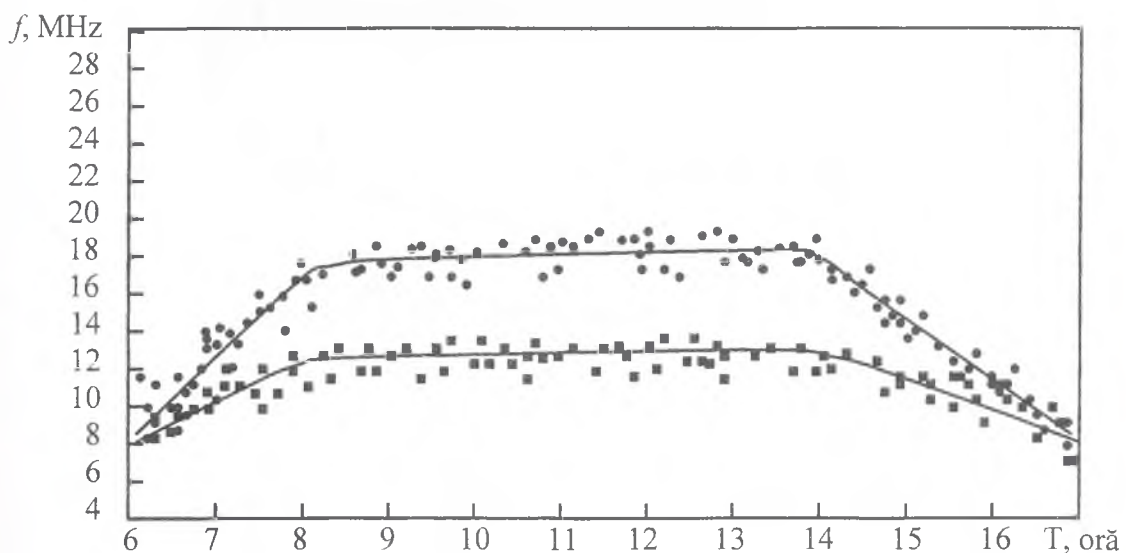


Fig. 11. Dependentele frecvenței maxime de propagare f_{max3F2} (•) și frecvenței minime de propagare f_{min3F2} (◻) de timp pentru moda 3F2 pe traseul Dușanbe - Bălți.

Frecvența f_{min2F2} pentru intervalul de timp 6h00'...9h00' crește cu 1,0 MHz/oră, iar pentru intervalul de timp 12h00'...15h00' descrește cu 1,3 MHz/oră.

În fig. 11 sunt prezentate dependențele frecvenței maxime de propagare f_{max3F2} și frecvenței minime de propagare f_{min3F2} de timp pentru moda 3F2, construite pe baza rezultatelor obținute în perioada 21.11.91 - 17.12.91.

Frecvențele f_{max3F2} și f_{min3F2} au valori maxime, respectiv $f_{max3F2} \approx 17$ MHz, iar $f_{min3F2} \approx 10$ MHz în intervalul de timp 9h30'...13h30'.

În orele de dimineață 7h00'...9h30' f_{max3F2} crește cu ~ 2 MHz/oră, iar pentru orele 13h30'...16h00' f_{max3F2} se micșorează tot cu $\sim 2,4$ MHz/oră. Frecvența f_{min3F2} pentru aceleași intervale de timp crește cu $\sim 0,9$ MHz/oră și descrește cu $\sim 0,8$ MHz/oră.

Intervalul de frecvențe a regimului monomod de propagare $\Delta f = f_{max1F2} - f_{min1F2}$ pentru data de 10.12.91 în intervalul de timp 7h00'...16h00' nu se schimbă și este egal cu $\sim 4,5$ MHz.

În fig. 12 este prezentată dependența intensității semnalului radio recepționat pe data de 10.12.1991 de frecvență. Valoarea medie a semnalului recepționat în banda de frecvențe 15...27 MHz este $\sim 34 \mu V$.

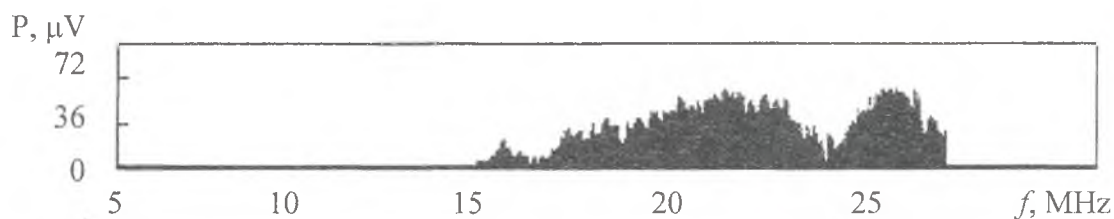


Fig. 12. Dependenta intensității semnalului recepționat la 10.12.91 de frecvență pentru traseul Dușanbe - Bălți.

3. Caracteristicile traseului Habarovsk-Bălți

Traseul Habarovsk-Bălți prezintă un interes deosebit, deoarece acoperă o distanță de 7120 km. În fig. 13 este prezentat un exemplu al ionogramei obținute pe data de 10.12.1991 la ora 13h15'.

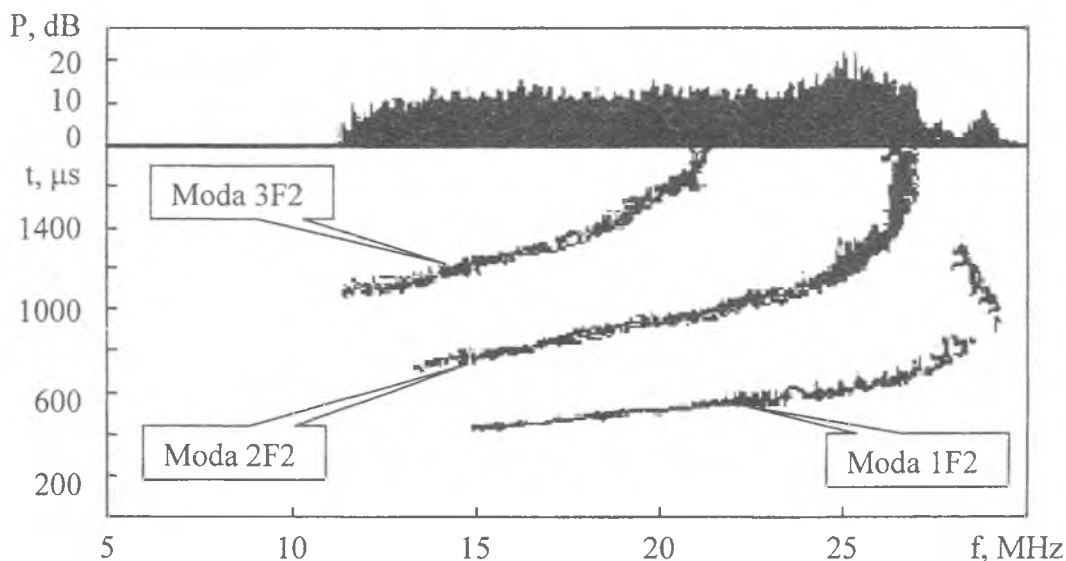


Fig. 13. Ionograma obținută pe data de 10.12.1991 la ora 13h 15' pe traseul Habarovsk - Bălți:

- A - regim multimod de propagare a semnalului radio prin ionosferă;
- B - regim monomod de propagare a semnalului radio prin ionosferă.

În fig. 14 sunt prezentate dependențele frecvenței maxime de propagare f_{max1F2} și frecvenței minime de propagare f_{min1F2} de timp pentru moda 1F2, construite pe baza rezultatelor obținute în

perioada 21.11.91 - 17.12.91. În intervalul de timp 9h30'...11h30' frecvențele f_{max1F2} și f_{min1F2} pentru moda 1F2 ating valori maxime, respectiv $f_{max1F2} \approx 30$ MHz, iar $f_{min1F2} \approx 14$ MHz. Pentru orele 7h00'...9h30' are loc creșterea f_{max1F2} de la 19 MHz pînă la 30 MHz cu $\sim 4,4$ MHz/oră, iar pentru orele 11h30'...15h30' are loc micșorarea f_{max1F2} de la 30 MHz pînă la 14 MHz cu $\sim 4,1$ MHz/oră.

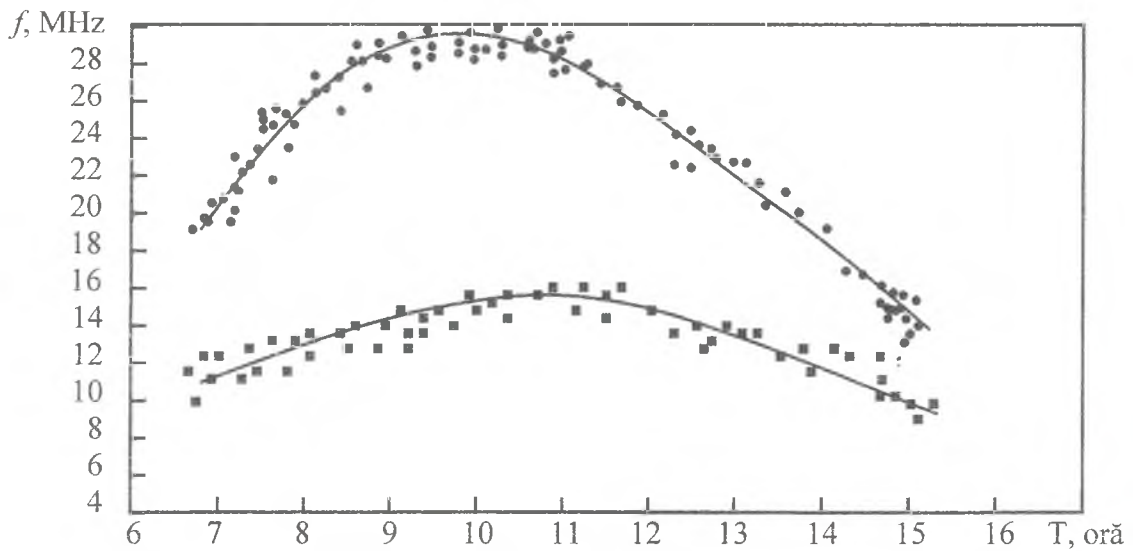


Fig. 14. Dependentele frecvenței maxime de propagare f_{max1F2} (*) și frecvenței minime de propagare f_{min1F2} (*) de timp pentru moda 1F2 pe traseul Habarovsk - Bălți.

Viteza creșterii f_{min1F2} pentru orele 7h00'...9h30' și descreșterii pentru orele 11h30'...15h30' este de ordinul 1,3 MHz/oră.

În fig. 15 sunt prezentate dependentele frecvenței maxime de propagare f_{max2F2} și frecvenței minime de propagare f_{min2F2} de timp pentru moda 2F2, construite pe baza rezultatelor obținute în perioada 21.11.91 - 17.12.91.

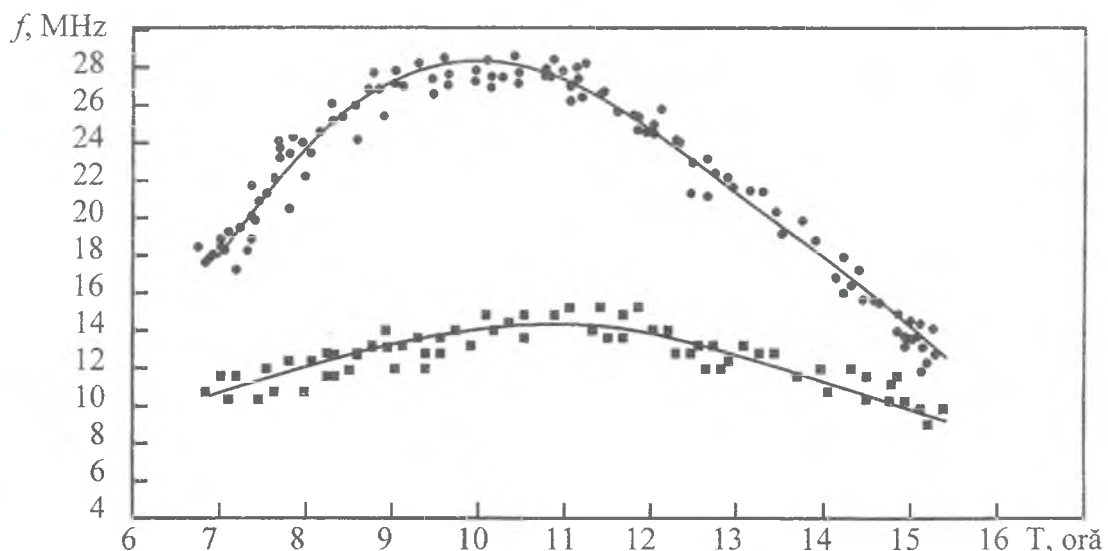


Fig. 15. Dependentele frecvenței maxime de propagare f_{max2F2} (*) și frecvenței minime de propagare f_{min2F2} (*) de timp pentru moda 2F2 pe traseul Habarovsk - Bălți.

Frecvențele f_{max2F2} și f_{min2F2} au valori maxime, respectiv $f_{max2F2} \approx 28$ MHz, iar $f_{min2F2} \approx 13$ MHz în intervalul de timp 9h30'...11h00'. În orele de dimineață 7h00'...9h30' f_{max2F2} crește cu 4,8 MHz/oră, iar pentru orele 11h00'...15h00' f_{max2F2} se micșorează cu $\sim 3,7$ MHz/oră.

Frecvența f_{min2F2} pentru intervalul de timp 7h00'...9h30' crește cu $\sim 1,0$ MHz/oră, iar pentru intervalul de timp 11h00'...15h00' descrește cu $\sim 0,5$ MHz/oră.

În fig. 16 sunt prezentate dependențele frecvenței maxime de propagare f_{max3F2} și frecvenței minime de propagare f_{min3F2} de timp pentru moda 3F2, construite pe baza rezultatelor obținute în perioada 21.11.91 – 17.12.91.

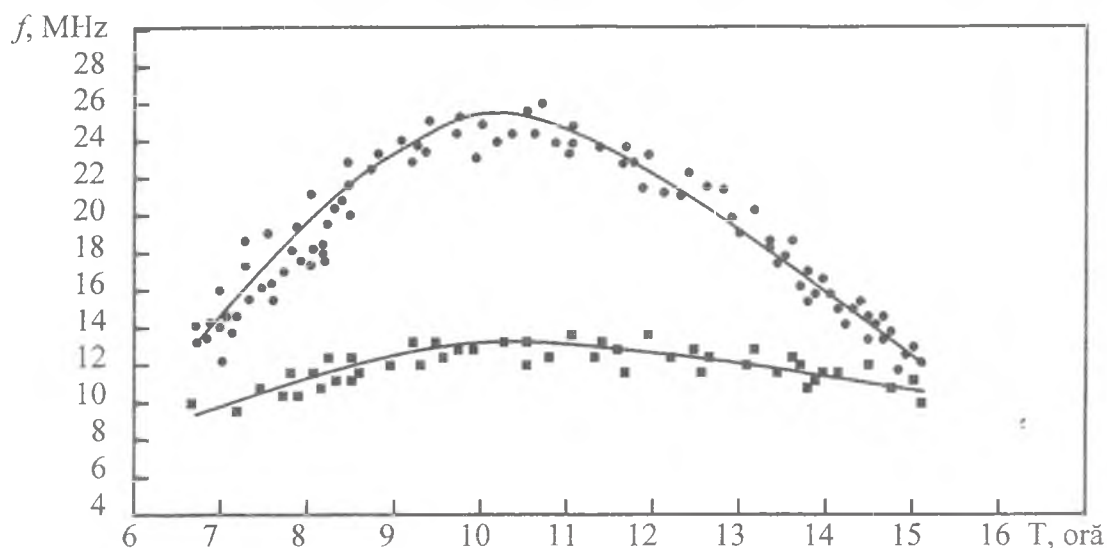


Fig. 16. Dependentele frecvenței maxime de propagare f_{max3F2} (•) și frecvenței minime de propagare f_{min3F2} (▪) de timp pentru moda 3F2 pe traseul Habarovsk – Bălți.

Frecvențele f_{max3F2} și f_{min3F2} au valori maxime, respectiv $f_{max3F2} \approx 26$ MHz, iar $f_{min3F2} \approx 12$ MHz în intervalul de timp 9h30'...11h00'.

În orele de dimineață 7h00'...10h00' f_{max3F2} crește cu $\sim 4,3$ MHz/oră, iar pentru orele 11h00'...15h00' f_{max3F2} se micșorează tot cu ~ 3 MHz/oră. Frecvența f_{min3F2} pentru aceleași intervale de timp crește cu $\sim 0,9$ MHz/oră și descrește cu $\sim 0,7$ MHz/oră.

În fig. 17 este prezentată dependența intervalului de frecvențe a regimului monomod de propagare $\Delta f = f_{max1F2} - f_{max2F2}$ pentru data de 10.12.91. Intervalul de frecvențe a regimului monomod de propagare poate fi utilizat pentru organizarea legăturilor radio în intervalul de timp 7h00'...14h00' pentru care atinge valoarea maximală ~ 2 MHz.

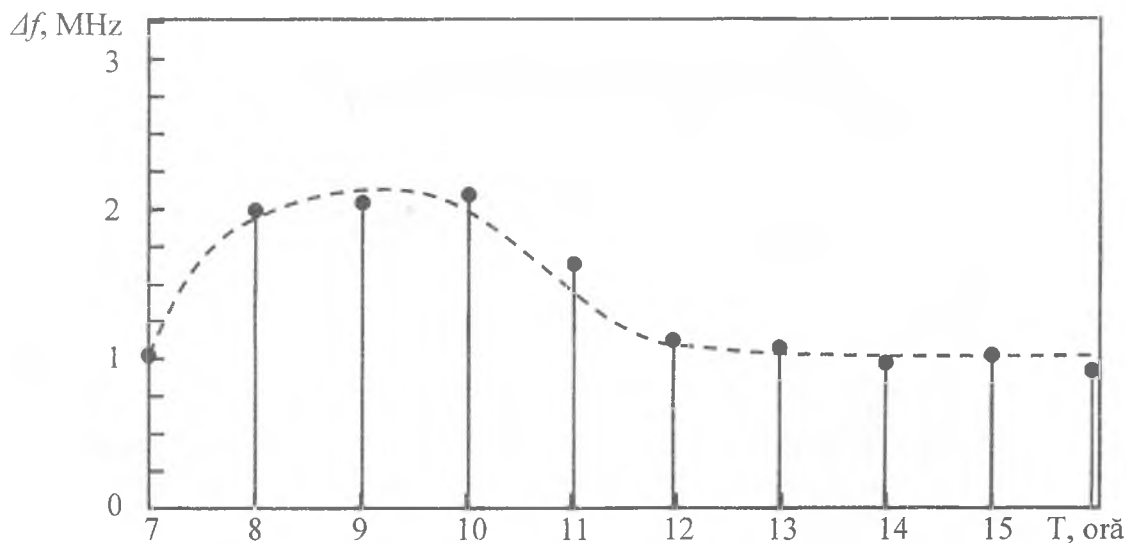


Fig. 17. Dependenta intervalului de frecvențe a regimului monomod de propagare $\Delta f = f_{max1F2} - f_{max2F2}$ de timp pentru traseul Habarovsk – Bălți.

În fig. 18 este prezentată dependența intensității semnalului radio recepționat pe data de 10.12.1991 de frecvență. Valoarea medie a semnalului recepționat în banda de frecvențe 15...27 MHz este ~ 26 μ V.

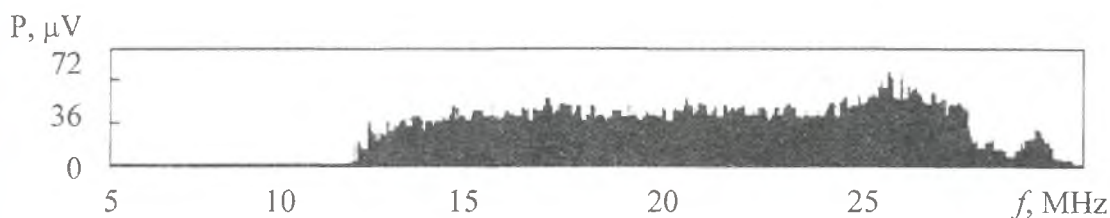


Fig. 18. Dependenta intensității semnalului recepționat la 10.12.91 de frecvență pentru traseul Habarovsk – Bălți.

Concluzii

Rezultatele cercetărilor sondării ionosferei cu semnale MLF pe traseele Ioșcar-Ola – Bălți (1670 km), Dușanbe – Bălți (3380 km) și Habarovsk – Bălți (7120 km) au demonstrat următoarele:

1. Sondarea ionosferei pe trasee extralungi poate fi executată cu semnale MLF la o putere de iradiere 200 W (în cazul sondării ionosferei cu semnale de tip impuls pentru a obține ionograme de aceeași calitate este necesară o putere de iradiere de 40 kW).
2. Ionogramele au fost înregistrate numai în timpul zilei (7h00'...16h00' LT pentru traseul Ioșcar-Ola-Bălți, 6h00'...18h00' LT pentru traseul Dușanbe-Bșlți și 6h00'...17h00' LT pentru traseul Habarovsk-Bălți).
3. Pentru toate traseele cercetate are loc regimul multimod de propagare a undelor radio prin ionosferă (au fost recepționate 2, 3, 4 mode de propagare).
4. Regimul monomod de propagare poate fi realizat în orele 7h00'...14h00' LT pentru traseul Ioșcar-Ola-Bălți, 7h00'...16h00' LT pentru traseul Dușanbe-Bșlți și 8h00'...11h00' LT pentru traseul Habarovsk-Bălți.
5. Intensitățile semnalelor radio recepționate ating următoarele valori medii: ~ 46 μ V pentru traseul Ioșcar-Ola-Bălți, ~ 34 μ V pentru traseul Dușanbe-Bșlți și ~ 26 μ V pentru traseul Habarovsk-Bălți.

Bibliografie

1. Metodele radiofizice de cercetare a ionosferei cu scopul de prognozare a canalelor de legătură pe trasee lungi: Raport științific (final) // Universitatea „A. Russo”. - Conducător N. Filip. Executor responsabil E. Plohotniuc. - Numărul de înregistrare de stat 0195M00561. Numărul de inventar 0396M00221. – Bălți, 1995. - 113 p.

Prezentat la 16.04.2004