

## ВЛИЯНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В F – ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ

О.А. Алимов, М.З. Муродова

Институт астрофизики Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, ул. Айни, 299/5.

E-mail: Alimov38@mail.ru

**Аннотация.** Целью исследования является анализ влияния сейсмических процессов на температуру максимума ионизации F-области ионосферы в период подготовки к сильным землетрясениям. Установлено, что рассчитанные значения экспериментальных температур в F-области ионосферы в сейсмоактивный период превышают показатели сейсмоспокойного периода в 1,5–2 раза за 1–3 суток до землетрясения. Результаты проведенных исследований показывают, что температура на высоте максимума ионизации в ночной F-области ионосферы в сейсмоактивный период увеличивается на 20–25 % по сравнению с сейсмоспокойным периодом.

**Ключевые слова:** ионосфера; землетрясений; магнитуда; эпицентр землетрясений; температура; высоты однородной атмосферы; сейсмоактивный; сейсмоспокойный; электромагнитный поля

## THE INFLUENCE OF SEISMIC ACTIVITY ON THE TEMPERATURE IN THE F-REGION OF THE IONOSPHERE

О.А. Алимов, М.З. Муродова

**Abstract.** The aim of the study is to analyze the impact of seismic processes on the temperature at the peak ionization of the F-region of the ionosphere during the preparation period for strong earthquakes. It was found that the calculated experimental temperature values in the F-region of the ionosphere during seismically active periods exceed those of seismically quiet periods by 1.5–2 times within 1–3 days before an earthquake. The results of the study indicate that the temperature at the altitude of peak ionization in the nighttime F-region of the ionosphere increases by 20–25% during seismically active periods compared to seismically quiet periods.

**Keywords:** ionosphere; earthquake; height homogeneous atmosphere; electromagnetic field; magnitude

### Введение

Использование сейсмоионосферных эффектов для прогнозирования землетрясений является актуальной задачей, особенно в условиях повышения сейсмической активности в различных регионах Земли. Исследования параметров F-слоя ионосферы в сейсмоактивных зонах показали, что за 1–3 суток до сильных землетрясений в ночной ионосфере наблюдаются характерные возмущения [1–6].

Анализ влияния мощных землетрясений на высоту однородной атмосферы в ночное время в период их подготовки [6] показал, что за 1–3 суток до сейсмособытия высота однородной атмосферы в F-области ионосферы увеличивается в 1,5–2 раза по сравнению с фоновыми значениями в сейсмоспокойные периоды.

В работах [3–4] изучены мелкомасштабные неоднородности спорадического слоя Es, и разработан метод обнаружения предвестников землетрясений на основе критериев полупрозрачности слоя Es, где  $f_0 Es \geq 2fbEs$ . Показано, что в сейсмоактивные периоды интенсивные непрерывные мелкомасштабные неоднородности слоя Es существуют от 2 до 6 часов за 2–3 суток до сильного землетрясения. Выявление сейсмоионосферных эффектов перед сильными землетрясениями остается актуальной задачей в связи с увеличением сейсмической активности в различных регионах Земли.

Целью данной работы является изучение воздействия сейсмических процессов на температуру в области максимальной ионизации F-слоя ионосферы в период подготовки сильных землетрясений.

### Методика исследования

Современные исследования активно развиваются так называемые нетрадиционные методы изучения физических процессов, предшествующих сейсмическим событиям и вызывающих возмущения в ионосфере Земли [1–6].

На сегодняшний день точные сведения о молекулярном весе на высотах F-области ионосферы, а также о его пространственно-временных изменениях, остаются недостаточно изученными. Поэтому вместо кинетической температуры газа рассчитывается так называемая молекулярная температура  $T_\mu$  и записывается следующим образом:

$$T_\mu = \frac{\mu_0 g H}{R} \quad (1)$$

$$g = g_0 \left(1 - \frac{2 h_{\max}}{R_3}\right), \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, как функция высоты;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $g_0$  – соответственно, ускорение силы тяжести на поверхности Земли и средний радиус Земли на широте 38°N;  $h_{\max}$  – высота максимума слоя ( $h_{\max} = h_p F_2$ );  $\mu_0$  – молекулярный вес газа у поверхности Земли и равен ( $\mu_0 = 28.966$  г/моль).

Из (1) и (2) можно получить для определение молекулярной температуры:

$$T_\mu = \frac{\mu_0 q_0}{2 R} \left(1 - \frac{h_p F_2}{3185}\right) Y_m \quad (3)$$

где

$$Y_m = h_p F_2 - h' F; \quad \frac{\mu_0 q_0}{2 R} = 17,1$$

Из теории образования простого ионизованного слоя Чепменом [7] следует, что полутолщина параболического слоя F равна  $Y_m = 2H$  [7], которая определяется как разность между максимальными и минимальными высотами отражений от слоя  $F_2$ ,  $Y_m = h_p F_2 - h' F$ . Где  $H$  – шкала высот атмосферы,  $h' F$  – минимальные высоты отражения слоя F ионосферы и  $h_p F_2$  – высота параболического слоя  $F_2$ .

Для изучения влияния сильных землетрясений на молекулярную температуру в F-области ионосферы был проведен статистический анализ с использованием метода наложения эпох (МНЭ). В качестве исходных данных использовались результаты вертикального зондирования – ВЗ ионосферы на станции Душанбе в период подготовки 12 сильных землетрясений с магнитудой  $4,3 \leq M \leq 6,6$ , произошедших на глубинах  $10 \leq h \leq 63$  км и на эпицентральных расстояниях  $72 \leq R \leq 334$  км от станции. В период подготовки землетрясений были вычислены значения  $T_\mu$  в F-области по ионосфере формуле (3).

### Результаты и анализ

Исследование влияния сейсмической активности на ионосферу имеет важное практическое значение, поскольку позволяет глубже понять физические процессы в верхних слоях атмосферы и выявить возможные сейсмоионосферные предвестники сильных землетрясений.

Одним из ключевых параметров, связанных с такими предвестниками, является температура в F-области ионосферы. Для изучения влияния сильных землетрясений на вариации температуры в F-области ионосферы были рассчитаны температурные значения в сейсмоактивные и сейсмоспокойные периоды.

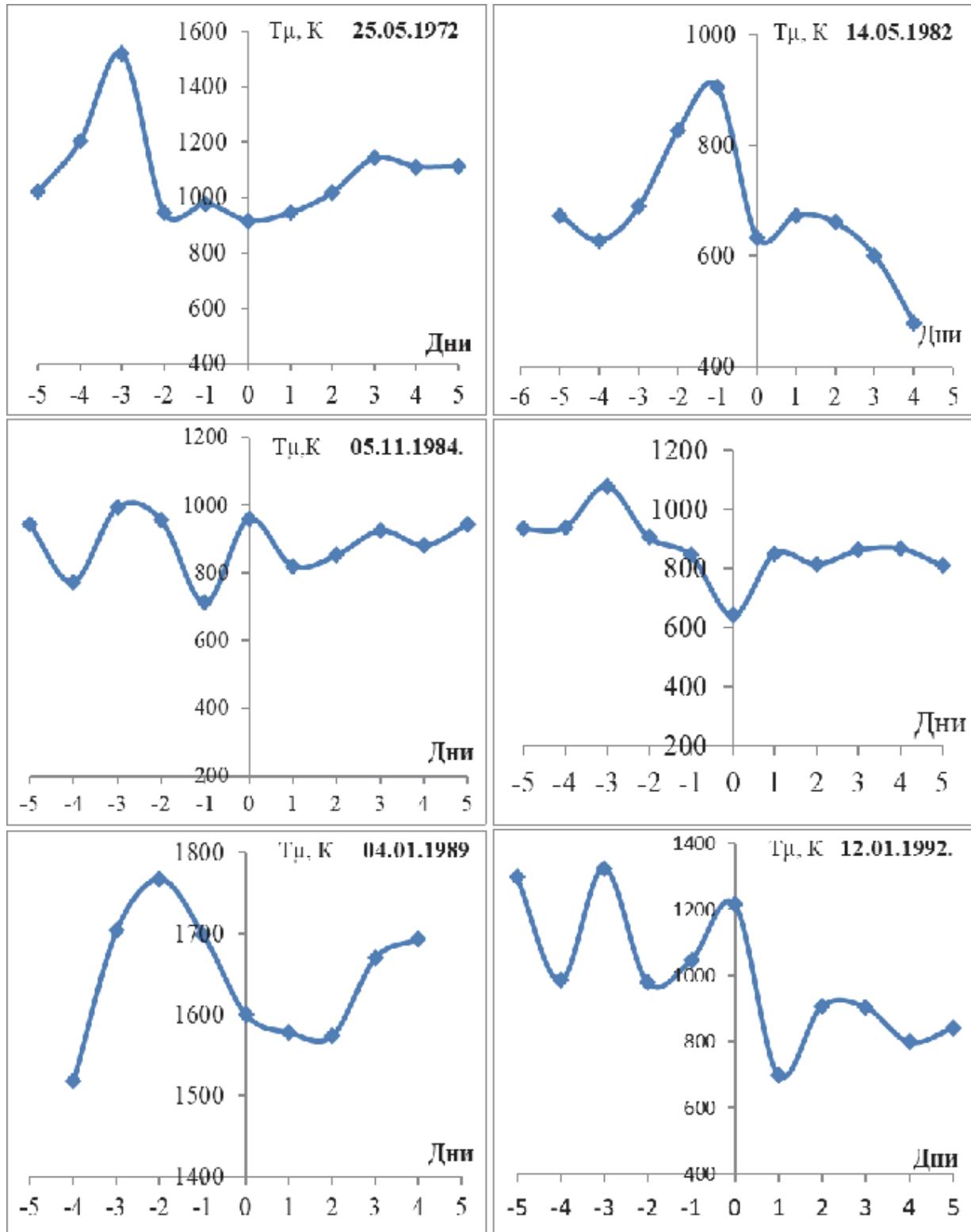


Рис. 1. Изменение молекулярной температуры в период подготовки землетрясений за 1972, 1982, 1984, 1989, 1992 годов на высоте максимума ионизации ночной F-области ионосферы

На рис. 1. представлены изменения молекулярной температуры в F-области ионосферы в сейсмопокойные и сейсмоактивные периоды для ряда землетрясений. На графиках хорошо видно, что экстремальным значением является молекулярным температурой в сейсмоактивный период за 1–3 суток до землетрясения. Максимальное значение молекулярной температуры 1700 К за трое суток до землетрясения в 1.5 раза больше, чем фоновой 700 К. Анализ данных показал, что в период сейсмической активности её значение молекулярный температуры

увеличиваются в среднем на 20% по сравнению с сейсмоспокойными периодами. Результаты расчетов экспериментальных величин температуры в F-области ионосферы показали, что в сейсмоактивный период температура в среднем ~1.5 раза выше, чем в сейсмоспокойный период за 1–3 суток до землетрясения.

Предполагается, что повышение температуры в F-области перед землетрясениями может быть связано с механизмом нагрева ионосферы вследствие электромагнитных процессов, возникающих вблизи поверхности Земли в процессе подготовки землетрясений.

На рисунке 1 представлены значения температуры в F-области ионосферы, где наблюдаются несколько максимумов. Это может быть связано с физическими процессами, происходящими в процессе подготовки землетрясений, которые, в свою очередь, приводят к волновым возмущениям в параметре температуры F-области ионосферы.

Как видно из рис. 1, изменения температуры на разных землетрясениях показывают, что сейсмическая активность может приводить к аномальным изменениям величины температуры в F-области ионосферы. Однако следует отметить, что каждое землетрясение имеет свои индивидуальные особенности, и реакция ионосферы на изменения температуры может различаться в каждом конкретном случае.

### **Выводы**

В периоды подготовки сильных землетрясений наблюдается увеличение значений молекулярной температуры на высоте максимума ионизации в F-области ионосферы за 1-3 суток до землетрясения. Показано, что в периоды подготовки сильных землетрясений наблюдаются долгопериодические волновые возмущения в динамике молекулярной температуры в F-области ионосферы.

### **Список литературы**

1. Липеровский В.А., Похотовов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений. – М.: Наука, 1992. – С. 304.
2. Липеровский В.А., Алимов О.А., Шалимов С.Л., Гохберг М.Б., Липеровская Р.Х., Сайдшоев А. Исследование F – области ионосферы перед землетрясениями // Изв. АН СССР Физика Земли. – 1990. – № 12. – С. 77–86.
3. Алимов О.А., Калашникова Т.М. Воздействие сейсмической активности на диапазон полупрозрачности спорадического слоя E<sub>s</sub>. Труды 26 Всероссийской открытой научной конференции. Распространение радиоволн, г. Казань, 2019 г. – Т. 1. – Казань, 2019. – С. 101–104.
4. Алимов О.А., Калашникова Т.М. Влияние сейсмической активности на неоднородности спорадического слоя E<sub>s</sub> турбулентного происхождения. Распространение радиоволн: Труды Всероссийской открытой научной конференции: научное электронное издание. – Калининград: Издательство БФУ им. Канта. – 2021. – С. 231–235.
5. Alimov O.A., Kalashnikova T.M. Turbulent Origin in the Influence of Seismic Activity on Irregularities of the Es Sporadic Layer // Geomagnetism and Aeronomiya. – 2022. – Vol. 62. – P. 779–782.
6. Алимов О.А., Замонов М.З., Муродова М.З. Влияние сейсмической активности на высоты однородной атмосферы // Изв. НАНТ, Душанбе. – 2024. – № 2 (2). – С. 23–32.
7. Иванов-Холодный Г.С., Никольский Г.М. Солнце и ионосфера. – М.: Наука 1074. – 265 с.