

(ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ», Алматы, Республика Казахстан)

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ F2-СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ НА ВОСХОДЕ СОЛНЦА

Аннотация. Изучено поведение F2-слоя во время восхода Солнца по данным вертикального зондирования ионосферы. На основе сопоставления $N(h)$ -профилей, рассчитанных по программе NeXtYZ, учитывающей горизонтальные градиенты электронной плотности, и по традиционной программе POLAN, показано, что на восходе Солнца моменты начала заметного роста электронной концентрации совпадают. Скорости возрастания электронной концентрации в этот период на высотах вблизи высоты максимума слоя, полученные из анализа зависимостей, рассчитанные методами NeXtYZ и POLAN, также близки. Эти факты доказывают возможность исследования динамики F2-слоя на восходе Солнца, используя данные зондирования относительно простого ионозонда, не регистрирующего углы прихода отраженного сигнала.

Ключевые слова: ионосфера, F-2 слой, восход Солнца.

Тірек сөздер: ионосфера, F-2 қабаты, Күннің шығуы.

Keywords: ionosphere, F2 layer, Sunrise.

Экспериментальные исследования параметров F2-слоя ионосферы на восходе Солнца начались с момента начала регулярного зондирования ионосферы. Обобщение основных результатов этих исследований сделано в работе [1], в которой проводятся оценки вклада процессов ионообразования и потерь в формирование F2-слоя в утреннее переходное время. Заметим, что количественные параметры поведения F2-слоя, полученные разными авторами, цитируемыми в работе [1], имеют заметный разброс, и большая часть данных о скорости увеличения электронной концентрации (N') и зенитном угле Солнца (χ), при котором начинается заметный рост электронной концентрации, получена для максимума слоя, концентрация в котором непосредственно оценивается из значений критических частот. При анализе поведения $N(t)$ на высотах ниже максимума слоя использовались действующие высоты, непосредственно считываемые с ионограмм.

В нашей работе [2] изучено поведения F2-слоя во время восхода Солнца по данным вертикального зондирования ионосферы над Алматы в 2000–2010 гг., на основе анализа поведения параметров F2-слоя по всей его толще путём пересчёта ионограмм в высотные профили электронной концентрации, используя программу пересчёта POLAN [3]. Последовательность $N(h)$ -профилей позволяла получать поведение ряда параметров слоя, в том числе электронную концентрацию на фиксированных высотах (N), электронную концентрацию в максимуме слоя (N_mF2), высоты максимума (h_mF2) и основания слоя

($h_{bot}F2$). В момент восхода Солнца создается заметный горизонтальный градиент электронной концентрации ионосферы, который приводит к отклонению углов прихода отраженного от ионосферы сигнала от вертикального направления. Поэтому программа POLAN, по-видимому, дает высотный профиль электронной концентрации с некоторыми ошибками. Метод корректного измерения высотного профиля электронной концентрации с учетом углов прихода зондирующего сигнала, названный NeXtYZ, предложен в работе [4].

Целью нашей работы является сравнение методов POLAN и NeXtYZ, а также оценка величин возможных расхождений определения моментов начала резкого роста ионизации на различных высотах $F2$ -слоя. Для достижения этих результатов мы воспользовались результатами расчетов, представленных на сайте [<http://dynserv.eiscat.uit.no>]. Используя данные этих расчетов, нами проведено сопоставление $N(h)$ -профилей с тем, чтобы оценить их возможное расхождение. Результаты сопоставления показаны на рисунке 1, где приводится поведение электронной концентрации на ряде высот, начиная с высоты 150 км, с расстоянием 10 км между соседними высотами, полученное из высотных профилей, рассчитанных по программам NeXtYZ (левая панель) и POLAN (правая панель) для периода восхода Солнца. Чтобы устранить случайные флуктуации кривых, как ионосферного происхождения, так и вызванные шумом, возникающим в процессе обработки, осуществлялась низкочастотная фильтрация рядов с применением скользящего окна шириной $T = 30$ мин.

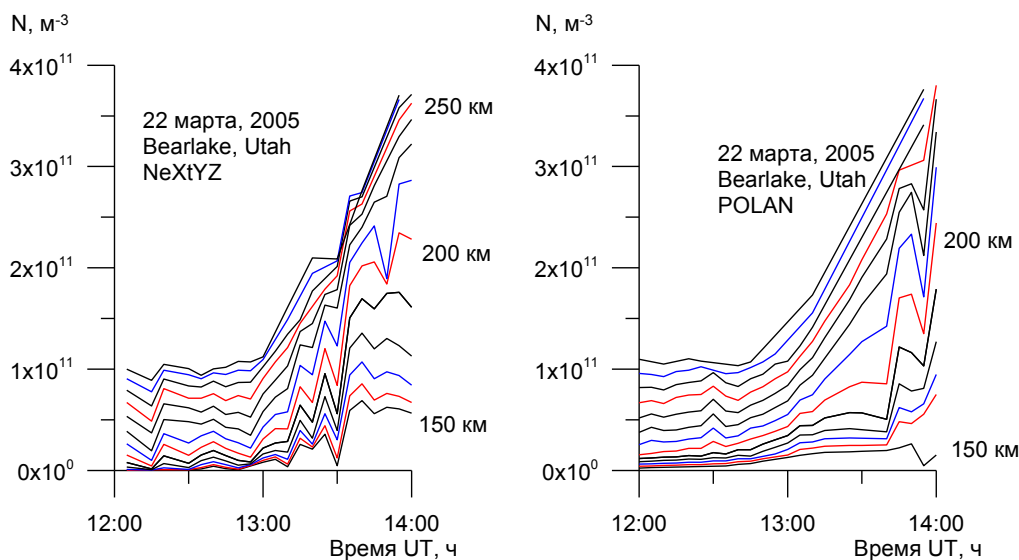


Рисунок 1 – Поведение электронного содержания на ряде высот, начиная с высоты 150 км, с расстоянием 10 км

между соседними высотами, полученное из высотных профилей, рассчитанных по программам NeXtYZ (левая панель)

и POLAN (правая панель) для периода восхода Солнца

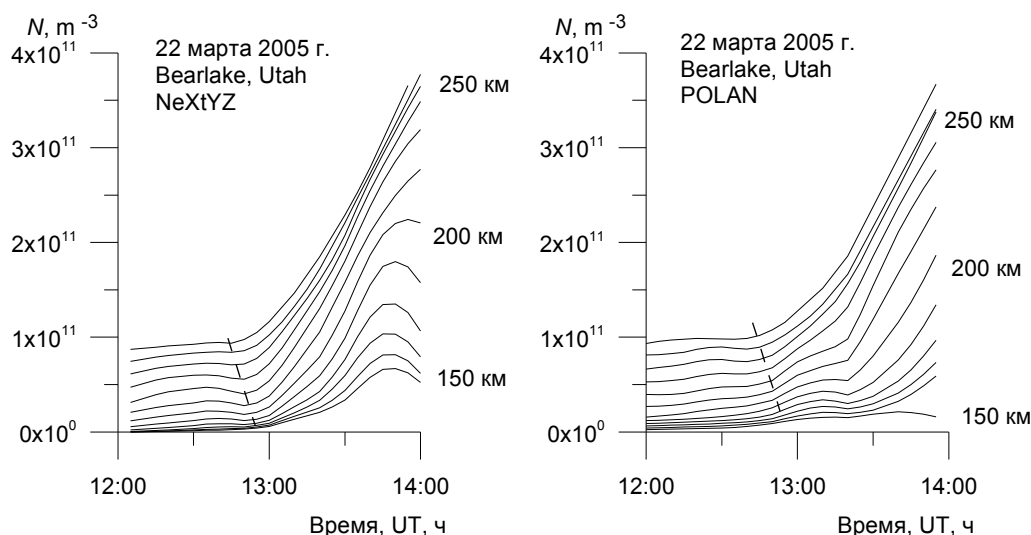


Рисунок 2 – Поведение электронного содержания на ряде высот, полученное из высотных профилей,

рассчитанных по программам NeXtYZ (левая панель) и POLAN (правая панель)

после низкочастотной фильтрации кривых, представленных на рисунке 1

На рисунке 2 представлены соответствующие отфильтрованные зависимости. Наклонные штриховые линии проведены через точки, соответствующие моментам начала заметного роста электронной концентрации (t_h) на разных высотах. Чтобы не допустить значительных ошибок определения этих моментов, к обработке принимались только записи с незначительными ампли-тудами флуктуаций электронной концентрации в интервал времени, предшествующий восходу Солнца. Представленные на рисунке вариации $N(t)$ содержат черты, характерные для всех сеансов измерений. К ним относятся: а) запаздывания моментов начала заметного роста электронной концентрации при уменьшении высоты; б) различие скоростей увеличения электронной концентрации (N') на разных высотах, при этом максимальная скорость увеличения (N'_{max}) наблюдается на высотах, лежащих ниже высоты максимума слоя.

Для оценки величины расхождений из этих зависимостей для нескольких высот и моментов времени на восходе Солнца рассчитана относительная разность электронных концентраций ($\Delta N/N$) %, полученных тем и другим методом (таблица 1).

Таблица 1 – Относительная разность электронных концентраций ($\Delta N/N$) %, полученных тем и другим методом.

	12:30UT	13:00UT	13:30UT
--	---------	---------	---------

190 км	15	66	59
210 км	6	43	29
230 км	8	21	5
250 км	8	2	2

Из таблицы следует, что для 12:30UT, до момента начала быстрого роста электронной концентрации, относительные разности электронных концентраций невелики и они, по-видимому, находятся в пределах точности расчетов $N(h)$ – профилей данными методами. После начала быстрого роста Ne (13:00UT, 13:30UT) расхождения значительно возрастают на высотах вблизи основания слоя F2. И эти расхождения для рассматриваемой даты, по-видимому, и в основном, обусловлены разным способом задания нижней границы ионосферы, как это видно из рисунка 3, где показаны высотные профили, посчитанные двумя способами.

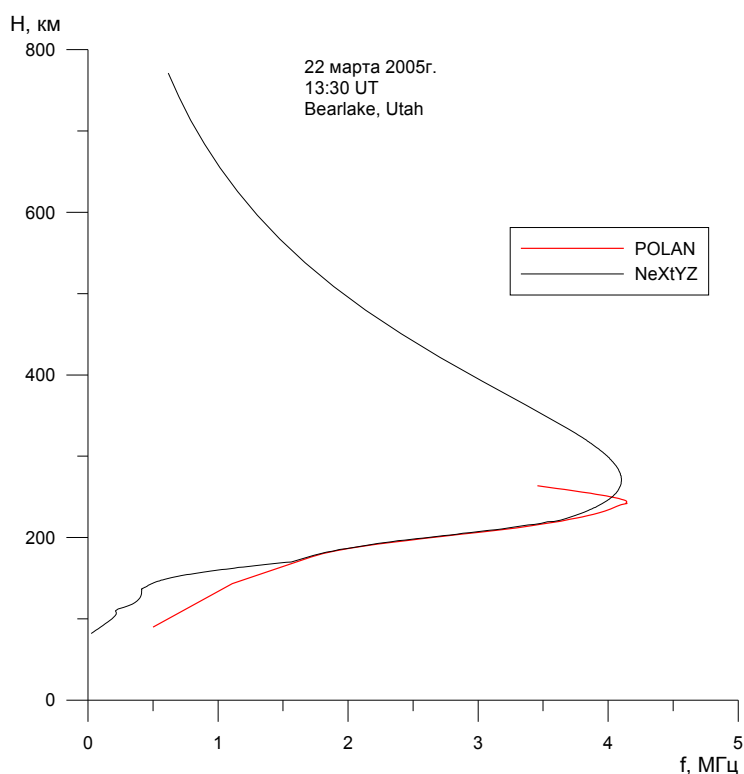


Рисунок 3 – Сопоставление $N(h)$ -профилей, рассчитанных по программам NeXtYZ и POLAN

Обратимся к сравнению тех параметров, которые обсуждаются в статье [2]. Ключевыми параметрами являются зенитные углы Солнца, при которых начинается процесс быстрого роста $N(t)$. На рисунке 2 штриховые линии проведены через точки, соответствующие моментам начала заметного роста электронной концентрации (t_h) на разных высотах. Сравнение этих моментов для профилей, рассчитанных разными методами, показало, что они очень близки, следовательно, близки и зенитные углы Солнца. Скорости возрастания электронной концентрации в период восхода Солнца на высотах вблизи высоты максимума слоя, полученные из анализа зависимостей (рисунок 2), рассчитанные методами NeXtYZ и POLAN, также близки.

Нами также проведено сопоставление $N(h)$ -профилей, полученных обоими методами с тем, чтобы оценить возможное расхождение профилей. Сравнение показало, что,

несмотря на значительные расхождения профилей вблизи основания $F2$ -слоя ($h < 200$ км), такие характеристики, как зенитные углы Солнца на восходе, при которых начинается процесс быстрого роста электронного содержания на конкретных высотах, скорость роста электронного содержания близки при расчетах, проведенных тем и другим методом.

Основные результаты работы можно сформулировать так.

На основе сопоставления $N(h)$ -профилей, рассчитанных по программе NeXtYZ, учитывающей горизонтальные градиенты электронной плотности, и традиционной программе POLAN, показано, что на восходе Солнца моменты начала заметного роста электронной концентрации совпадают. Скорости возрастания электронной концентрации в период восхода Солнца на высотах вблизи высоты максимума слоя, полученные из анализа зависимостей, рассчитанные методами NeXtYZ и POLAN, также близки. Эти факты доказывают возможность исследования динамики $F2$ -слоя на восходе Солнца, используя данные относительно простого ионозонда, не регистрирующего углы прихода отраженного сигнала.

Работа выполнялась по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» в рамках темы «Исследовать воздействия нестационарных явлений на среднеширотные атмосферу и ионосферу».

ЛИТЕРАТУРА

1 Rishbeth H., Jenkins B., Moffett R.J. The F-layer at sunrise // Ann. Geophysicae. – 1995. – Vol. 13. – P. 367-374.

2 Яковец А.Ф., Водяников В.В., Нурмуханбетова К.Ж., Гордиенко Г.И., Литвинов Ю.Г. F-область ионосферы на восходе Солнца // Известия НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2012. – N 4. – С. 3-9.

3 Titheridge J.E. Ionogram analysis with the generalised program POLAN // National Geophysical Data Center. Boulder. CO USA. – 1985.

4 Zaboltn N.A., Wright J.W., Zhbankov G.A. NeXtYZ // Three-dimensional electron density inversion for dynasonde ionograms. Radio Science. – 2006. – Vol. 41, N 6. – CiteID RS6S32.

REFERENCES

1 Rishbeth H., Jenkins B., Moffett R.J. The F-layer at sunrise // Ann. Geophysicae. 1995. Vol. 13. P. 367-374.

2 Yakovets A.F., Vodyannikov V.V., Nurmuhambetova K.G., Gordienko G.I., Litvinov Yu.G. F-Region of the ionosphere at sunrise. Izvestia NAS RK. Ser. Phys.-math., 2012. N 4. P. 3-9.

3 Titheridge J.E. Ionogram analysis with the generalised program Polan // National Geophysical Data Center. Boulder. CO USA. 1985.

4 Zabolin N.A., Wright J.W., Zhbankov G.A. NeXtYZ // Three-dimensional electron density inversion for dynasonde ionograms. Radio Science, 2006. Vol. 41. № 6. CiteID RS6S32.

Резюме

А. Ф. Яковец, В. В. Водяников

(«ҰҒЗТО» АҚ «Ионосфера институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан Республикасы)

ИОНОСФЕРА F2-ҚАБАТЫН КҮННІҢ ШЫҒУЫНДА ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРУ

Күннің шығуы уақытында ионосфераның вертикальдық зондтау мәліметтері бойынша F2-қабатының мінез-құлқы зерттелді. Электрондық тығыздықтың көлбеу градиенттерін ескеретін, NeXtYZ бағдарламасы бойынша және POLAN дәстүрлі бағдарламасы бойынша өлшелінген $N(h)$ -профильдарын салыстырудың негізінде, Күннің шығуында электрондық шоғырланудың көрінетін өсуі басының сәттері дәл келетінін көрсеткен. NeXtYZ және POLAN әдістермен өлшеулі тәуелділіктерді талдаумен алынған, қабат максимумының биіктігі маңында биіктіктерде бұл кезеңде электрондық шоғырлану өсуінің жылдамдығы да жақын. Шағыл-ған сигнал кірісі бұрышын есепке алмайтын, қарапайым иондық зондқа қатысты зондтау мәліметтерді пайдалана, бұл айғақтар Күннің шығуында F2-қабаты серпінін зерттеуі мүмкіндігін дәлелдейді.

Тірек сөздер: ионосфера, F-2 қабаты, Күннің шығуы.

Summary

A. F. Yakovets, V. V. Vodynnikov

(Institute of Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan)

COMPARISON OF METHODS OF STUDYING F2-LAYER OF THE IONOSPHERE AT SUNRISE

The behavior of the $F2$ -layer at sunrise, according to the vertical sounding of the ionosphere has been studied. Study based on comparison of $N(h)$ -profiles calculated by the program NeXtYZ which takes into account the horizontal gradients of the electron density, and the traditional program POLAN, shows that at sunrise moments of beginning a significant increase in the electron concentration are the same. The rates of increase of the electron density during the sunrise on the heights near the height of the layer maximum obtained from the analysis of dependencies, calculated methods NeXtYZ and POLAN, are also close. These facts prove the possibility of studying the dynamics of the $F2$ -layer at sunrise, using data from a relatively simple ionosonde not registering the angles of arrival of the reflected signal.

Keywords: ionosphere, F2 layer, Sunrise.

Поступила 2.09.2013г.