

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ F-РАССЕЯНИЯ

В.А. Телегин¹, В.А. Панченко¹, Г.А. Жбанков², В.И. Рождественская¹

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, г. Москва; e-mail: telvika@gmail.com

²Научно-исследовательский институт физики, ЮФУ, г. Ростов на Дону

Аннотация. В предлагаемой статье разработан алгоритм автоматизированной обработки F-рассеяния, дополняющий имеющиеся средства автоматической обработки ионограмм для сетевых ионозондов типа DPS-4. Результаты суточного хода F-рассеяния, полученные с помощью ручной обработки ионограмм DPS-4 на станции в ИЗМИРАН (Москва) в различные годы [1-4] использованы для отладки и апробации предлагаемого алгоритма. Алгоритм и реализующие его программы показали свою работоспособность и хорошее статистическое совпадение результатов с ручными расчётами. Процент ошибок данного алгоритма и точность определения индекса рассеяния сопоставимы с точностью работы основного алгоритма станций DPS-4 (программа ARTIST-5.0).

Введение

Прогнозирование условий распространения радиоволн в режиме реального времени по данным наземных ионосферных станций сильно зависит от наличия неоднородностей электронной концентрации в ионосфере, сравнимых по своей величине с фоновыми значениями. При наличии таких неоднородностей на ионограммах наблюдается появление диффузных отражений выше критических частот F-слоя. Данное явление, называемое F-рассеянием по частоте, затрудняет корректное определение критических частот f_oF2 и f_xF2 и высоты максимума h_mF2 слоя F2. Наличие таких отражений вблизи и выше критических частот в таблицах ионосферных параметров обозначается специальной буквой F. Существует и количественная мера степени рассеяния – т.н. «индексы рассеяния» [1]. Для ряда конкретных применений желательно в реальном времени, кроме основных параметров ионосферы, автоматически определять и степень (индексы) рассеяния сигналов.

Алгоритм обработки данных сети ионозондов для определения характеристик F-рассеяния

Основой для построения алгоритма служат стандартные файлы SAO- и RSF-форматов, выдаваемые ионозондами DPS-4 [2] и доступные в соответствующей базе для многих станций [5]. Из SAO-формата использовались кривые основного следа и восстановленного профиля электронной концентрации (рис. 1). Выше максимума слоя F ионизация даётся с учётом заложенной модели ионосферы.

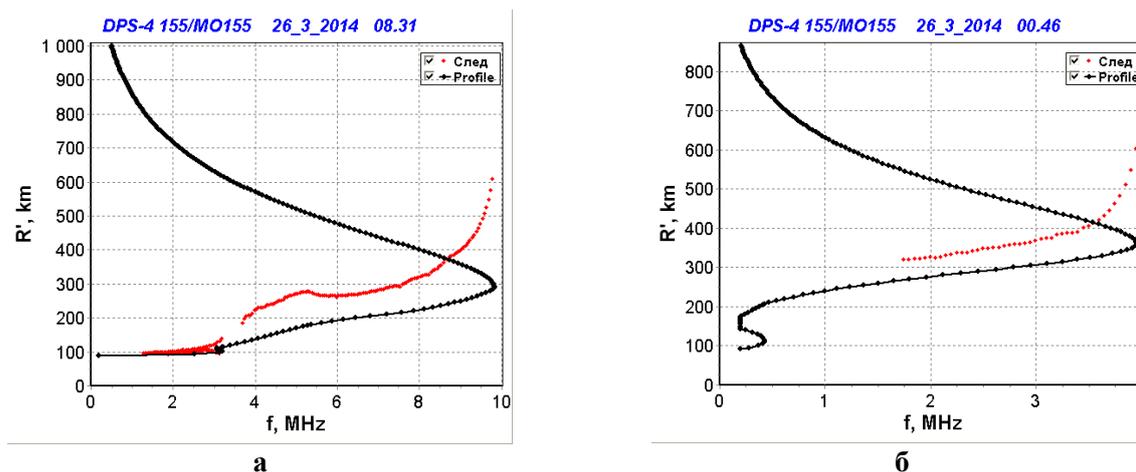


Рисунок 1. Результат обработки ионограмм (SAO-формат) ионозонда DPS-4. Трек обыкновенной компоненты (красные точки) и рассчитанный по этому треку профиль ионосферы (черная линия).

Из RSF-формата выбрана полная ионограмма с разбивкой по типам компонент отраженного сигнала (рис. 2). При разработке алгоритма и программы расчета типов F-рассеяния учитывался ряд факторов, основными из которых являются выбор порога отображения и высотного интервала обработки данных. На каждой высоте, входящей в выбранный интервал, рассчитывалась частотная ширина ионограммы отдельно для O- и X-

компонент вблизи основного следа. За ширину F -рассеяния принималось максимальное значение. На основании полученного набора данных определялась величина и тип F_s . Для оценки интенсивности выбрана известная шкала (0, 1, 2, 3 балла) [1].

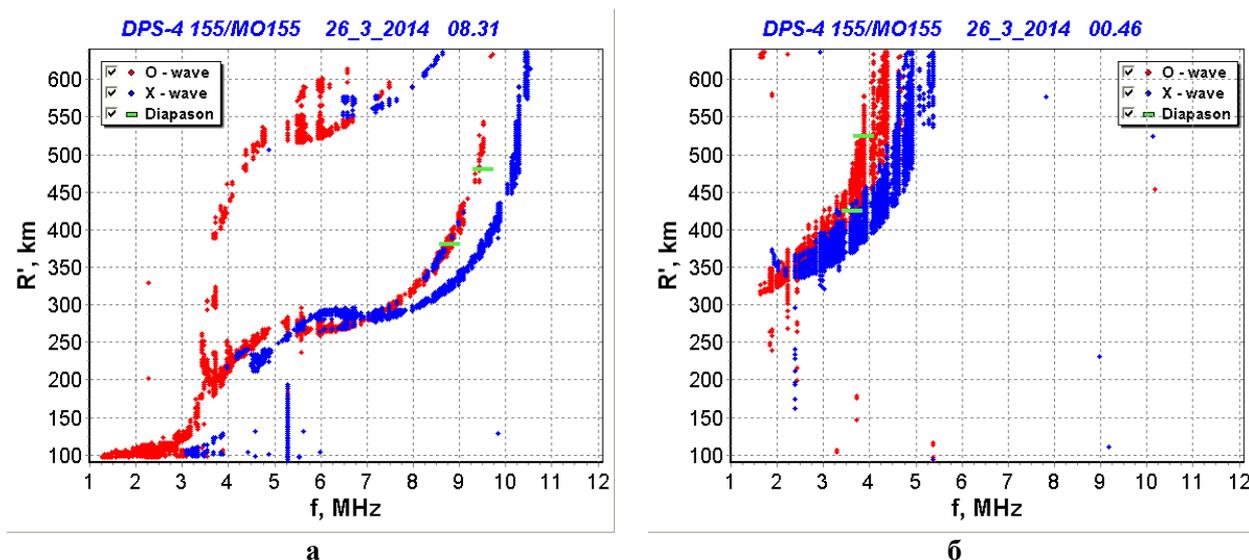


Рисунок 2. Ионограммы, по данным RSF-формата ионозонда $DPS-4$: **а, б** соответствуют датам рис.1 а,б. Слева случай отсутствия F -рассеяния, справа ионограмма с F -рассеянием. Красным цветом показаны отражения волны обыкновенной поляризации («О»-волны), а синим отражения волны необыкновенной поляризации («Х»-волны).

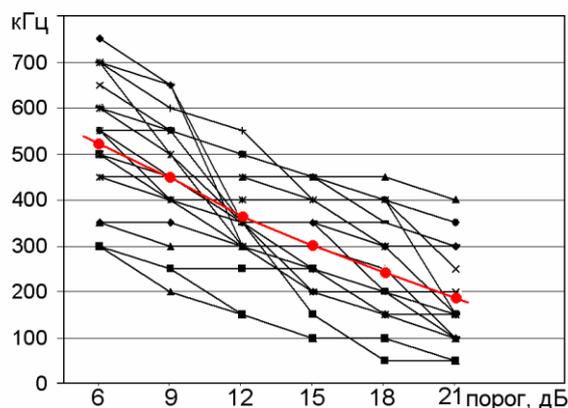


Рисунок 3. Ширина ионограммы по частоте в зависимости от выбранного порога отображения. Чёрные – индивидуальные зависимости для 18-ти типичных ионограмм с F -рассеянием, красная с кружками - усреднённая кривая. ($DPS-4$, зима 2013 г.)

слишком низко, направление следа ионограммы на этом участке будет далеким от вертикального, и оценка ширины F -рассеяния по частоте будет завышенной. При автоматизированной обработке эту операцию необходимо было формализовать.

Для определения интервала высоты при расчете F -рассеяния было предложено несколько критериев: 1) высота появления F -рассеяния принималась не ниже 280 км, 2) кажущаяся высота появления F -рассеяния принималась выше максимума слоя $h_m F_2$, рассчитанного программой $ARTIST-5.0$, 3) начальная высота определялась из взаимного положения кривых, описывающих основной след (красная кривая на рис. 1) и восстановленный по ней профиль электронной концентрации ионосферы (черная кривая).

Выбор порога отображения ионограммы

Ширина ионограммы по частоте при F -рассеянии зависит от порога отображения [4]. Обычно ионограммы $DPS-4$ выставляют в интернет с порогом отображения 6 дБ, но имеется также возможность изменять порог отображения на ионограммах $DPS-4$ с шагом 3 дБ. С ростом порога уменьшается ширина ионограммы по частоте. Результаты исследований, подтверждающие этот вывод показаны на рис.3. Следовательно, вероятность обнаружения F -рассеяния также будет уменьшаться с ростом порога отображения. В нашем алгоритме использовался стандартный порог 6 дБ.

Выбор высотного интервала для F -рассеяния по частоте

Другим ключевым параметром является интервал высот (начальная высота), используемый алгоритмом. Выбрав эту высоту слишком большой, можно занизить ширину следа, из-за малого числа рассеянных отражений на части высот, входящих в интервал. Выбрав начальную высоту интервала измерений

Результаты автоматической обработки данных

Как было указано выше, алгоритм использует результаты обработки ионограмм ионозонда *DPS-4* программой *ARTIST-5.0*. Основные характеристики ионограммы вертикального зондирования – след обыкновенной «O» и необыкновенной «X» волны, соответствующие критические частоты F_2 слоя foF_2 и fxF_2 и высота максимума слоя h_mF_2 .

На рис. 1,2 приведены результаты обработки (рис.1) и сами ионограммы с F -рассеянием баллом 0 (рис. 2а) и баллом 2 (рис. 2б). В наших примерах базовая высота составила $H_0 = 370$ км (рис. 2а) и 415 км (рис. 2б). Рабочий интервал высот связан с базовой высотой соотношением $\Delta h = [H_0+10; H_0+110]$. На рис. 2 эти интервалы отмечены зелёными горизонтальными линиями. В первом случае $\Delta h = [380; 480]$ км, во втором $\Delta h = [425; 525]$ км.

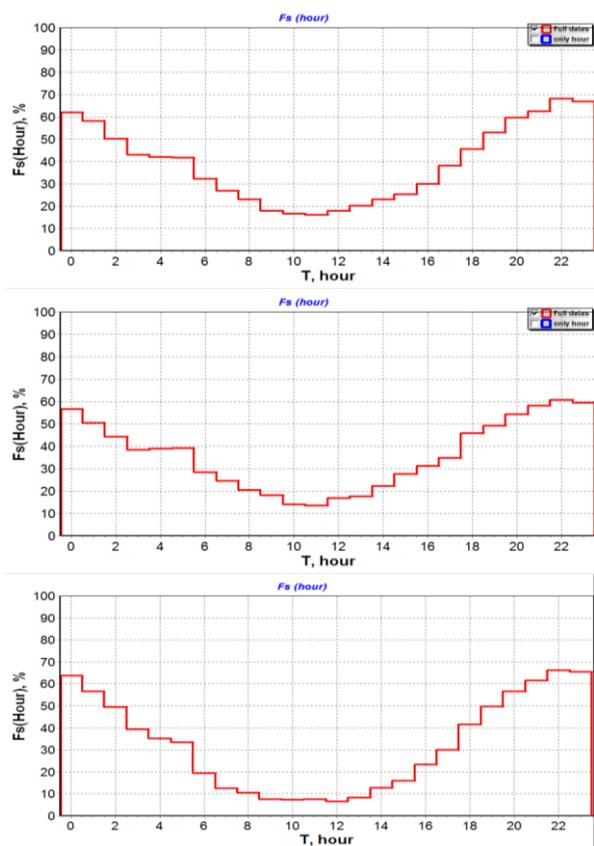
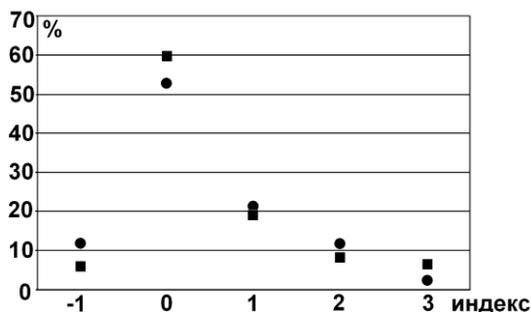


Рисунок 4. Суточный ход вероятности F -рассеяния для: (а) – 2012 г., (б) – 2013 г., (в) – 2014 г.

Сравнение процентов определения слабого (индекс «1») и умеренного (индекс «2») F -рассеяния, показало хорошее статистическое совпадение ручного и автоматического счёта. Отличия есть в числе забракованных ионограмм (неопределенность 6,7%), в доле ионограмм без F -рассеяния (неопределенность 6,1%) и в доле ионограмм с сильным (индекс «3») F -рассеянием (неопределенность 3,3%).



а На рис. 4 представлены гистограммы суточного хода вероятности появления F -рассеяния, соответственно для 2012, 2013, 2014 гг., полученные с помощью автоматизированного алгоритма.

б Результаты автоматизированной обработки F -рассеяния предложенным алгоритмом сравнивались с данными, полученными вручную для ионограмм за март, сентябрь, октябрь, ноябрь и декабрь 2013 г. Количество обработанных алгоритмом ионограмм чуть меньше 3000 в каждом из 5-ти месяцев. Там, где автоматизированный алгоритм не сумел обработать ионограмму, или, где не могли обработать операторы вручную, ставился индекс «-1». При отсутствии рассеяния – индекс «0», при слабом – «1», при умеренном - «2», при сильном – «3». Вероятности появления ионограмм, которые отбраковываются автоматом из-за отсутствия данных по максимуму слоя F_2 или некорректно восстановленного профиля колеблются от 7% в полдень до 10-12% в вечерние и ночные часы. Однако, часто сама ионограмма прослеживается, и данные об F -рассеянии могут быть получены вручную.

в Первые результаты показали, что применение алгоритма автоматического определения, позволяет получать характеристики F -рассеяния с неопределенностью 11-20%, в зависимости от сложности, наблюдаемого F -рассеяния.

Рисунок 5. Усреднённые за 5 месяцев 2013г. вероятности индексов рассеяния при ручной (квадраты) и автоматической (кружки) обработке ионограмм *DPS-4*, Москва.

Анализ причин различий числа случаев, для индексов «-1», «0» и «3» показал, что на правильность определения индексов F -рассеяния по ионограмме влияют разные факторы. Первый – неустранимый, когда

автоматическое определение критической частоты по ионограмме невозможно, а при ручной обработке индекс F-рассеяния определяется. Это приводит к разнице в 3% в случае сильного рассеяния (индекс «3») и различию для числа случаев появления «-1». Вторым фактором – это несрабатывание программы ARTIST-5.0 на вполне разборчивых ионограммах, иногда вообще без признаков рассеяния. При этом отбраковываются чистые ионограммы, (с индексом «0»). Это дает различие в 6% для индекса «0»). В [5] приведено распределение ошибок величины f_oF2 для среднеширотной станции. В тех случаях, когда f_oF2 определена неправильно, ошибки будут и в определении высотного интервала следа по частоте и индекса F-рассеяния.

Заключение

Построенный нами алгоритм и реализующие его программы показали свою работоспособность и хорошее статистическое совпадение результатов с ручными расчётами. Процент ошибок данного алгоритма и точность определения индекса рассеяния сопоставимы с точностью работы основного алгоритма станций DPS-4 (программа ARTIST-5.0). Предложенный алгоритм позволяет получать более полную информацию о свойствах ионосферы (в частности F-рассеяния) из данных стандартных наблюдений и может быть полезен для улучшения краткосрочного прогнозирования распространения радиоволн и улучшения работы ряда радиосистем.

Литература

1. Гершман Б.Н., Казимировский Э.С., Кокоуров В.Д., Чернобровкина Н.А. Явление F-рассеяния в ионосфере. М.: Наука, 1984, 140 с.
2. Телегин В.А., Панченко В.А., Рождественская В.И. Предварительные результаты исследования явления F-рассеяния по данным ионозонда DPS-4 в Москве / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т.11, №1, с. 97-106.
3. Телегин В.А., Панченко В.А., Рождественская В.И. Возможности ионозонда DPS-4 для исследования явления F-рассеяния/Труды 37 семинара по физике авроральных явлений, 2014 “Physics of Auroral Phenomena”, Proc. XXXVII Annual Seminar, Apatity, 2014, ISBN 978-5-91137-286-6, p.98-103, <http://pgia.ru:81/seminar/archive>
4. <http://car.uml.edu/common/DIDBFastStationList>
5. Reinisch B. et al., The digisonde portable sounder – DPS. Technical manual. University of Massachusetts Lowell. Center for Atmospheric Research, 2007, Version 4.3, 404 с., или: <http://www.digisonde.com/dps-4dmanual.html>