

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК F- РАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ СЕТЕВЫХ ИОНОЗОНДОВ

*В.А. Телегин (1), В.А. Панченко (1), Г.А.
Жбанков (2), В.И. Рождественская (1)*

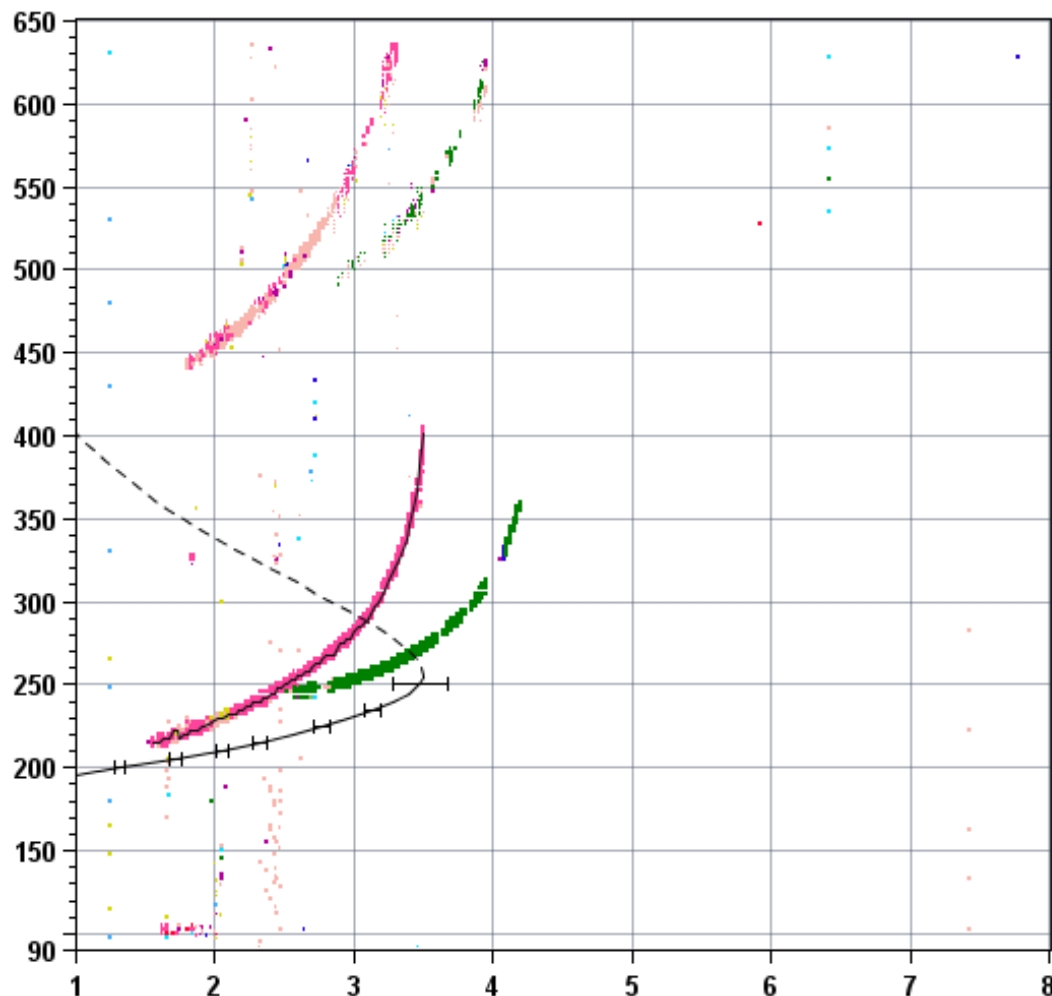
1. ИЗМИРАН Москва Россия, 2. НИИ
Физики ЮФУ Ростов-на-Дону Россия

Ионограммы бывают разные



Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
 Moscow 2016 Oct19 293 151600 RSF 025 4 714 200 15+ A2

foF2	3.500
foF1	N/A
foF1p	N/A
foE	N/A
foEp	0.60
fxI	4.30
foEs	1.90
fmin	1.55
<hr/>	
MUF(D)	11.60
M(D)	3.31
D	N/A
<hr/>	
h`F	215.0
h`F2	215.0
h`E	N/A
h`Es	102.5
<hr/>	
hmF2	254.6
hmF1	N/A
hmE	110.0
yF2	51.0
yF1	N/A
yE	20.0
B0	49.6
B1	2.22
<hr/>	
C-level	22
<hr/>	
Auto:	
Artist5	
500200	



NoVal
NNE
E
W
Vo-
Vo+
SSW
X-
X+
SSE
NNW

D 100 200 400 600 800 1000 1500 3000 [km]
 MUF 4.2 4.2 4.4 4.7 5.0 5.6 7.3 11.6 [MHz]

Takue,



Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXI PPS IGA PS
 Moscow 2016 Oct20 294 070100 RSF 025 4 714 200 13+ B1

foF2 6.100
 foF1 N/A
 foF1p N/A
 foE 2.31
 foEp 2.43
 fxI 6.85
 foEs 2.52
 fmin 1.55

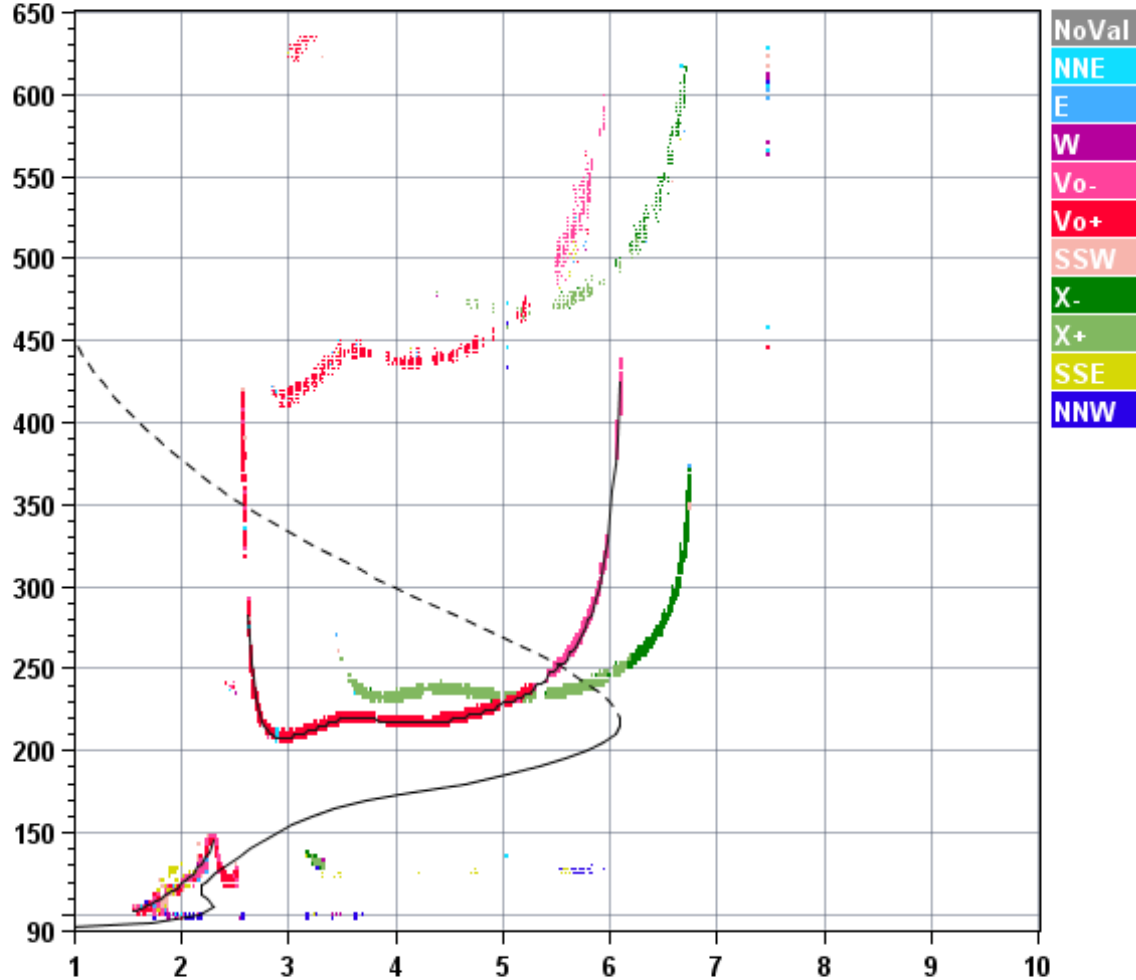
MUF(D) 22.42
 M(D) 3.67
 D N/A

h'F 207.5
 h'F2 207.5
 h'E 101.9
 h'Es 127.5

hmF2 216.2
 hmF1 N/A
 hmE 105.0
 yF2 55.2
 yF1 N/A
 yE 14.7
 B0 51.9
 B1 2.01

C-level 11

Auto:
 Artist5
 500200



D 100 200 400 600 800 1000 1500 3000 [km]
 MUF 6.8 6.9 7.2 7.8 8.6 9.8 13.3 22.4 [MHz]

M0155_2016294070100.RSF / 360fx256h 25 kHz 2.5 km / DPS-4 M0155 155 / 55.5 N 37.3 E

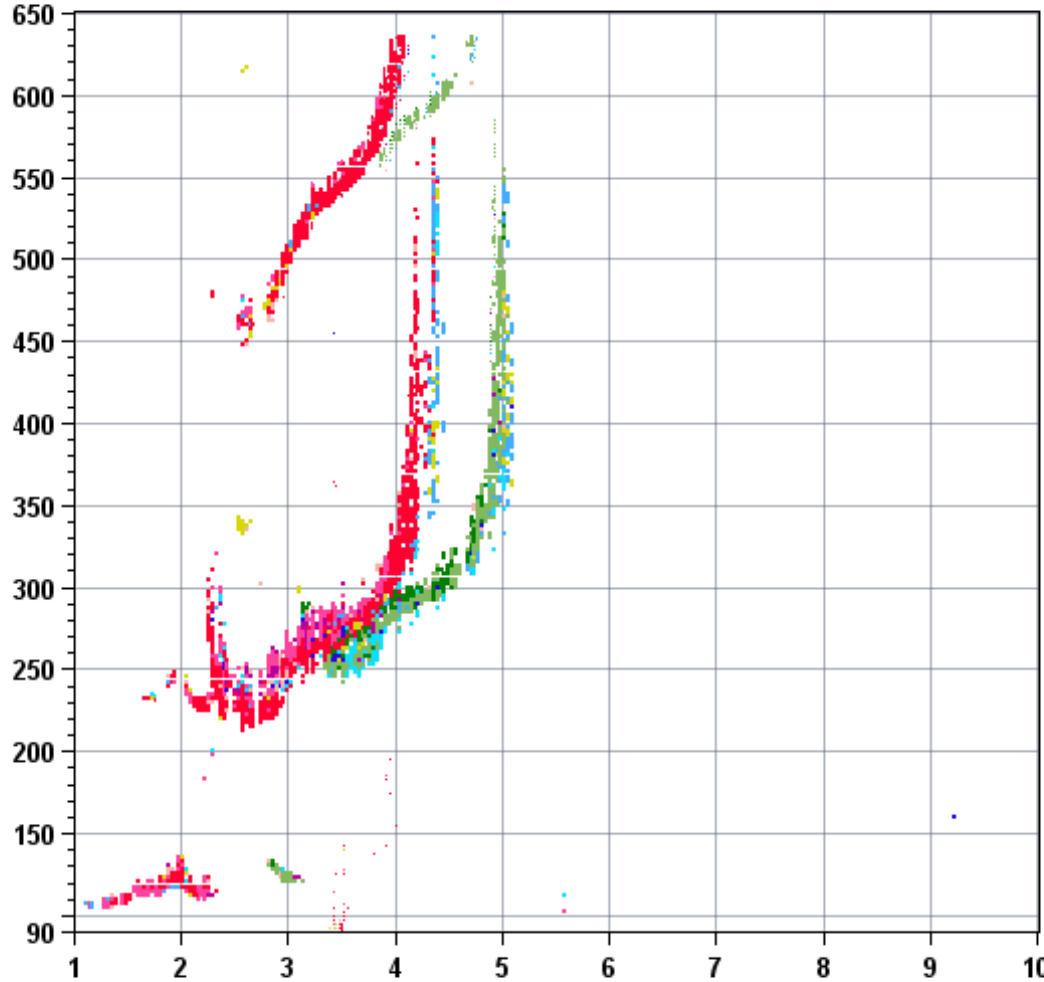
Ion2Png v. 1.3.16

vom makue



Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXI PPS IGA PS
 Moscow 2016 Oct25 299 061600 RSF 035 4 714 200 13+ B1

foF2	N/A
foF1	N/A
foF1p	N/A
foE	N/A
foEp	2.18
fxI	N/A
foEs	N/A
fmin	N/A
<hr/>	
MUF(D)	N/A
M(D)	N/A
D	N/A
<hr/>	
h`F	N/A
h`F2	N/A
h`E	N/A
h`Es	N/A
<hr/>	
hmF2	N/A
hmF1	N/A
hmE	N/A
yF2	N/A
yF1	N/A
yE	N/A
B0	N/A
B1	N/A
<hr/>	
C-level	55
<hr/>	
Auto:	
Artist5	
500200	



D 100 200 400 600 800 1000 1500 3000 [km]
 MUF 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 [MHz]

u make...



Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
 Moscow 2016 Oct21 295 234600 RSF 025 4 714 200 15+ A2

foF2 3.325
 foF1 N/A
 foF1p N/A
 foE N/A
 foEp 0.39
 fxI 4.15
 foEs N/A
 fmin 1.63

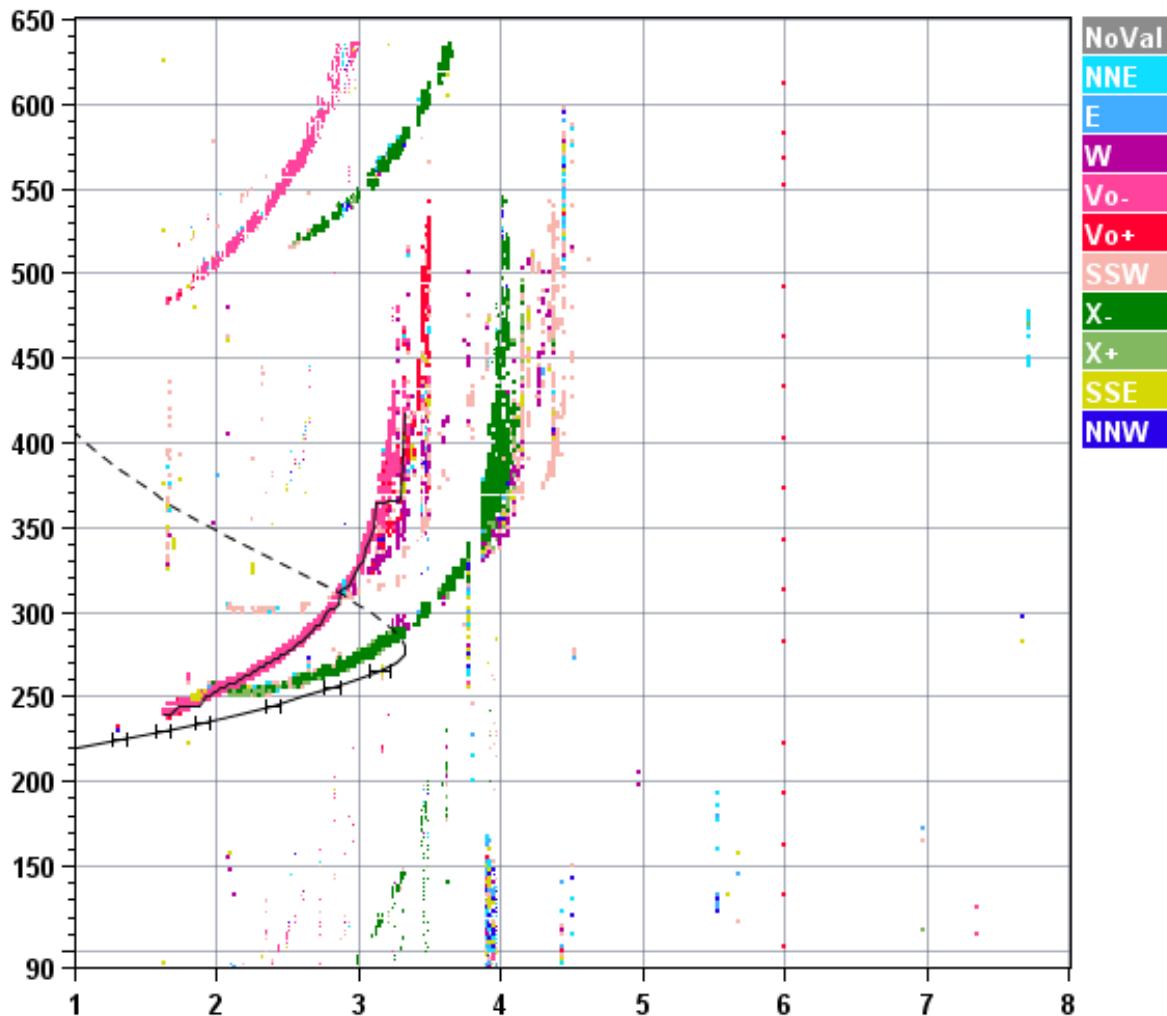
MUF(D) 10.70
 M(D) 3.22
 D N/A

h`F 240.0
 h`F2 240.0
 h`E N/A
 h`Es N/A

hmF2 276.9
 hmF1 N/A
 hmE 110.0
 yF2 46.6
 yF1 N/A
 yE 20.0
 B0 45.8
 B1 2.10

C-level 11

Auto:
 Artist5
 500200



D 100 200 400 600 800 1000 1500 3000 [km]
 MUF 4.0 4.0 4.2 4.4 4.8 5.3 6.8 10.7 [MHz]

F-рассеяние по частоте

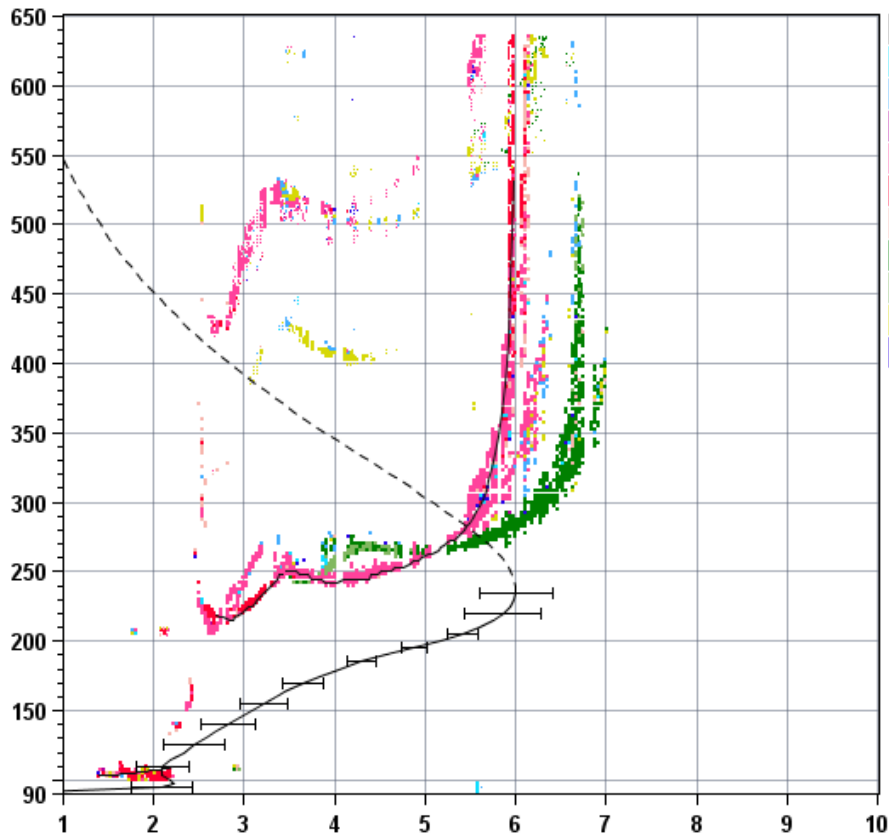
- Начиная с 3 МГц след сильно расширяется по высоте и, *главное, расширяется до нескольких сот кГц по частоте.*
- Данное явление получило название F-рассеяния по частоте. Далее для краткости будем говорить просто «F –рассеяние». Устоялась точка зрения, что F -рассеяние связано с наличием в ионосфере крупномасштабных неоднородностей. Это показывают и результаты моделирования, *и тот факт, что F -рассеяние часто начинается с появления расщеплённых следов, которые несомненно связаны с крупномасштабными неоднородностями.*

F-рассеяние часто начинается с появления расщеплённых следов



Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
 Moscow 2016 Oct25 299 104600 RSF 035 4 714 200 13+ B1

foF2	6.003
foF1	3.44
foF1p	N/A
foE	2.21
foEp	2.48
fxI	6.99
foEs	N/A
fmin	1.40
MUF(D)	20.64
M(D)	3.45
D	N/A
h`F	215.0
h`F2	242.5
h`E	102.9
h`Es	N/A
hmF2	236.0
hmF1	164.1
hmE	97.3
yF2	71.0
yF1	33.5
yE	7.2
B0	76.6
B1	2.22
C-level	22
Auto:	
Artist5	
500200	



D	100	200	400	600	800	1000	1500	3000	[km]
MUF	6.7	6.8	7.1	7.6	8.3	9.4	12.5	20.6	[MHz]

M0155_2016299104600.RSF / 256fx256h 35 kKm 2.5 km / DPS-4 M0155 155 / 55.5 N 37.3 E

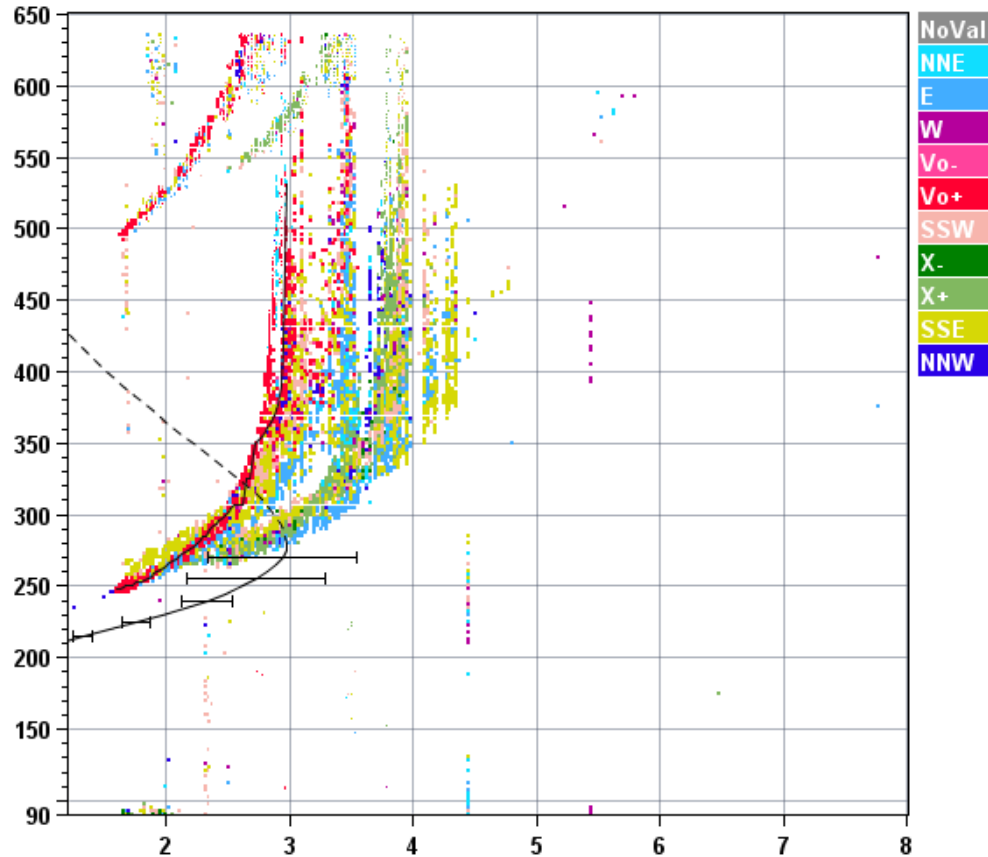
Ion2Png v. 1.3.16

Затем делается сильнее



Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
 Moscow 2016 Sep24 268 023100 RSF 025 4 714 200 15+ A2

foF2	2.975
foF1	N/A
foF1p	N/A
foE	N/A
foEp	0.63
fxI	3.95
foEs	N/A
fmin	1.60
<hr/>	
MUF(D)	9.44
M(D)	3.17
D	N/A
<hr/>	
h`F	247.5
h`F2	247.5
h`E	N/A
h`Es	N/A
<hr/>	
hmF2	278.5
hmF1	N/A
hmE	110.0
yF2	63.1
yF1	N/A
yE	20.0
B0	60.7
B1	2.48
<hr/>	
C-level	22
<hr/>	
Auto:	
Artist5	
500200	



D	100	200	400	600	800	1000	1500	3000 [km]
MUF	3.6	3.7	3.8	4.0	4.3	4.8	6.1	9.4 [MHz]

M0155_2016268023100.RSF / 272fx256h 25 kHz 2.5 km / DPS-4 M0155 155 / 55.5 N 37.3 E

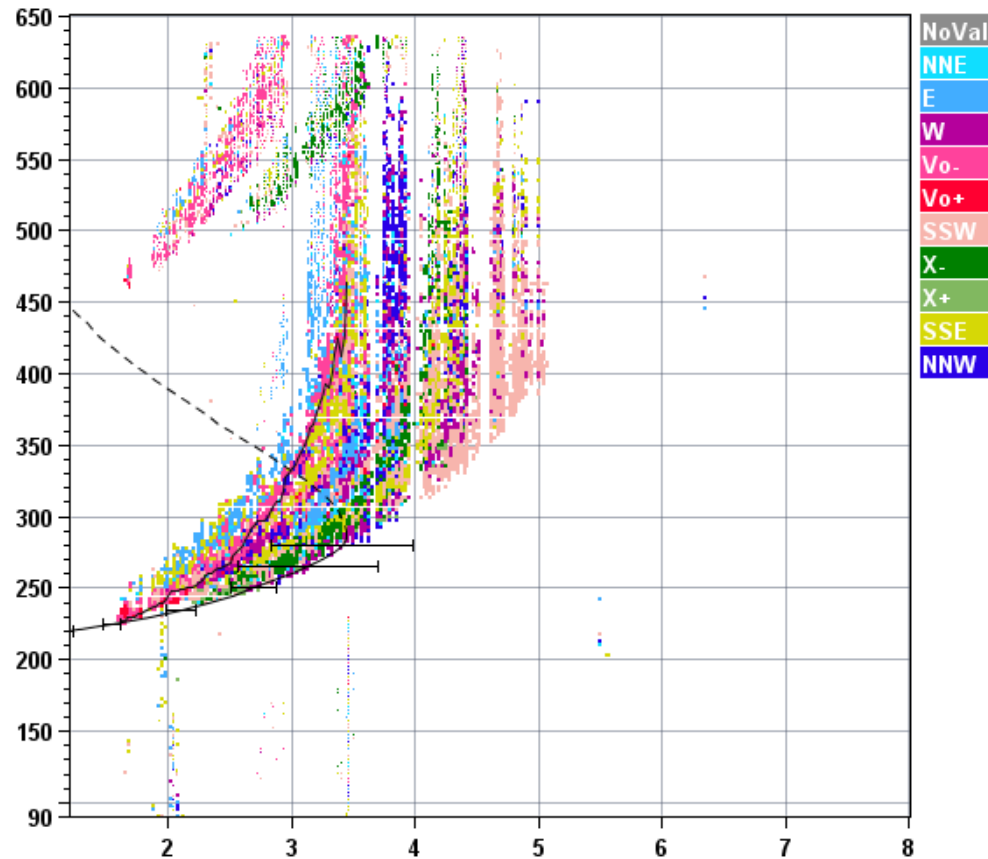
Ion2Png v. 1.3.16

И вот уже очень сильное F-рассеяние



Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
 Moscow 2016 Sep23 267 194600 RSF 025 4 714 200 13+ B1

foF2	3.450
foF1	N/A
foF1p	N/A
foE	N/A
foEp	0.39
fxI	4.38
foEs	N/A
fmin	1.63
<hr/>	
MUF(D)	10.38
M(D)	3.01
D	N/A
<hr/>	
h`F	227.5
h`F2	227.5
h`E	N/A
h`Es	N/A
<hr/>	
hmF2	287.6
hmF1	N/A
hmE	110.0
yF2	63.2
yF1	N/A
yE	20.0
B0	58.1
B1	2.54
<hr/>	
C-level	22
<hr/>	
Auto:	
Artist5	
500200	



D	100	200	400	600	800	1000	1500	3000 [km]
MUF	4.1	4.1	4.3	4.5	4.9	5.4	6.8	10.4 [MHz]

M0155_2016267194600.RSF / 272fx:256h 25 kHz 2.5 km / DPS-4 M0155 155 / 55.5 N 37.3 E

Ion2Png v. 1.3.16

F-рассеяние по частоте затрудняет определение критической частоты слоя и высоты его максимума

- Явление изучалось, преимущественно с феноменологической стороны, накоплен материал, есть монография, (Гершман, Казимировский и другие), введена классификация степени F – рассеяния по баллам, от 0- когда нет рассеяния, до 3-х баллов – есть сильное рассеяние и вообще затруднено определение критической частоты F-слоя.
- Конечно, при стандартной обработке ионограмм учитывается появление F –рассеяния. В таблицах ионосферных параметров в соответствующей графе появляется символ « F ». Однако **в стандартных ионосферных таблицах количественных оценок степени F –рассеяния нет** – слишком трудоёмко и методики оценки слегка разнятся у разных авторов.

Что сделали мы

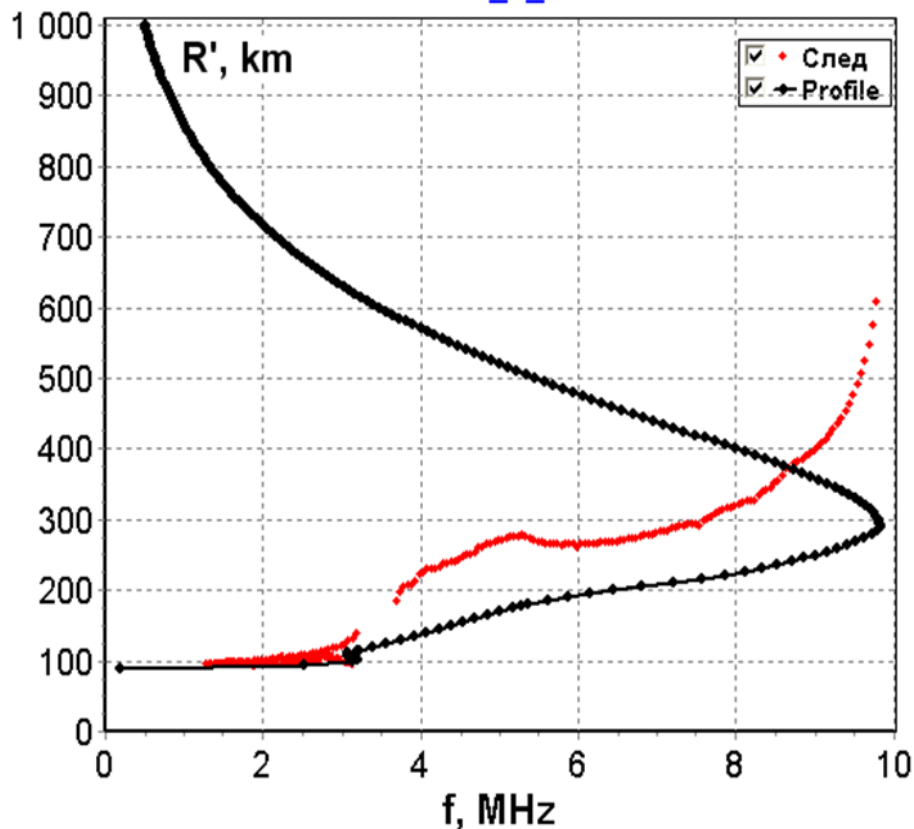
- Сначала при тщательной ручной обработке большого массива ионограмм станции ИЗМИРАН (Москва) была отработана методика непосредственной оценки уширения по частоте в МГц и определения степени степени F – рассеяния по баллам, как в «Гершман, Казимировский и др.». Были построены суточные зависимости степени F – рассеяния по баллам для различных месяцев нескольких разных лет. Результаты докладывались.

- *Так как в современных цифровых ионозондах основные параметры ионосферы уже давно определяются автоматически, пора и обработку F – рассеяния автоматизировать. Вот этим мы и занялись.*

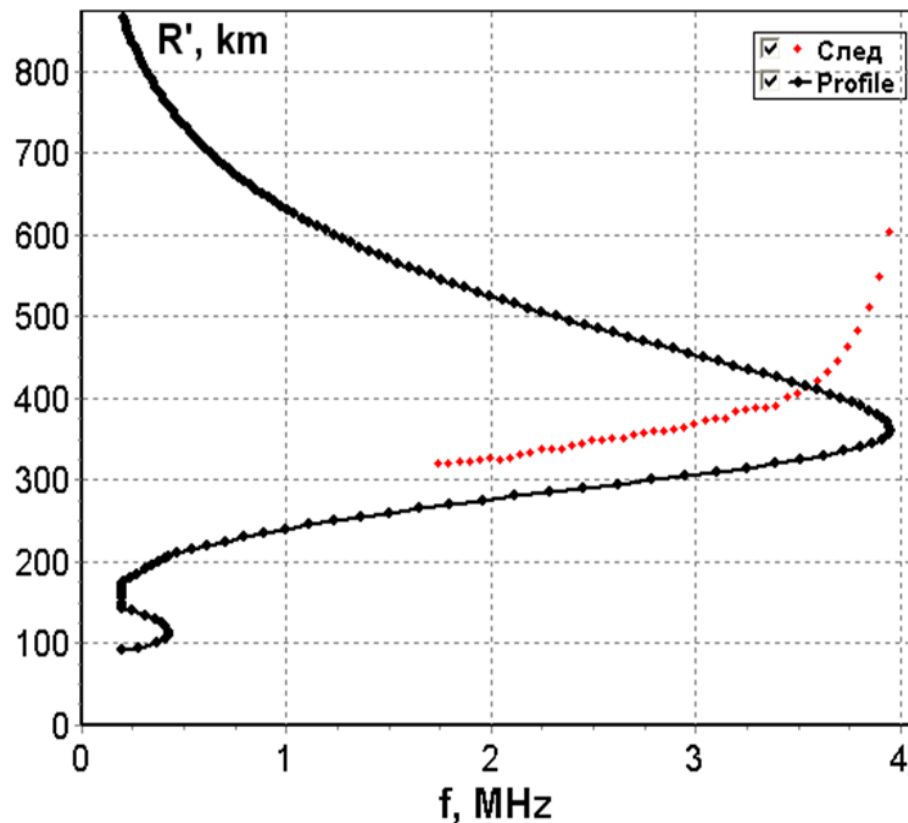
Основой для построения алгоритма служат

• стандартные файлы SAO- и RSF-форматов, выдаваемые ионозондами *DPS-4* и доступные в базах для ряда станций. Из SAO-формата используются **кривые основного следа** и восстановленного профиля электронной концентрации. Выше максимума слоя *F* ионизация даётся с учётом заложенной модели ионосферы.

DPS-4 155/MO155 26_3_2014 08.31

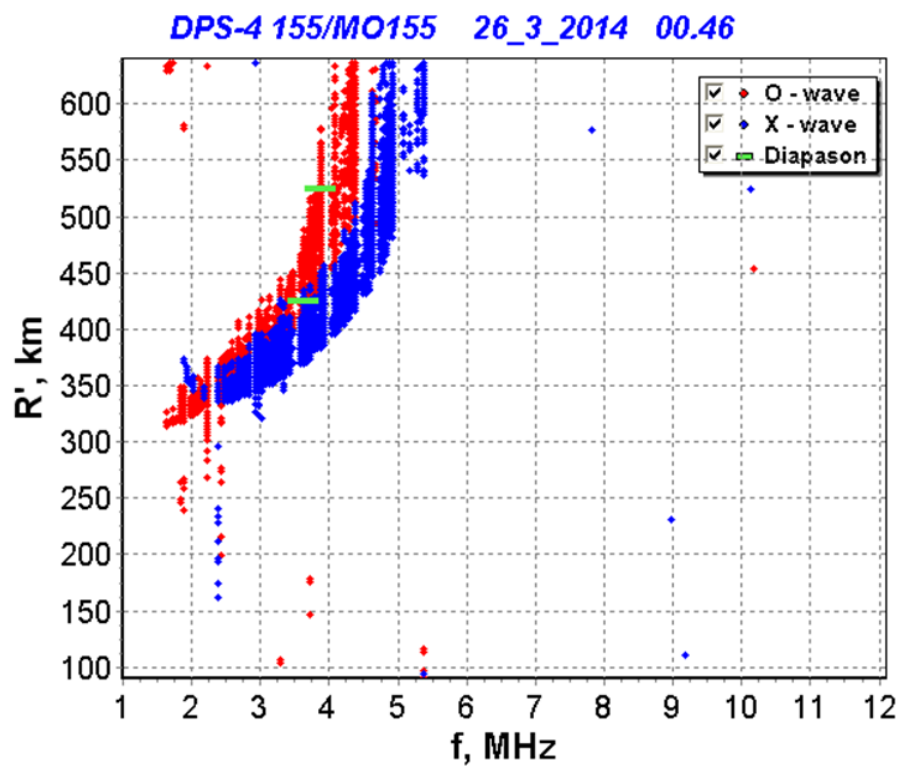
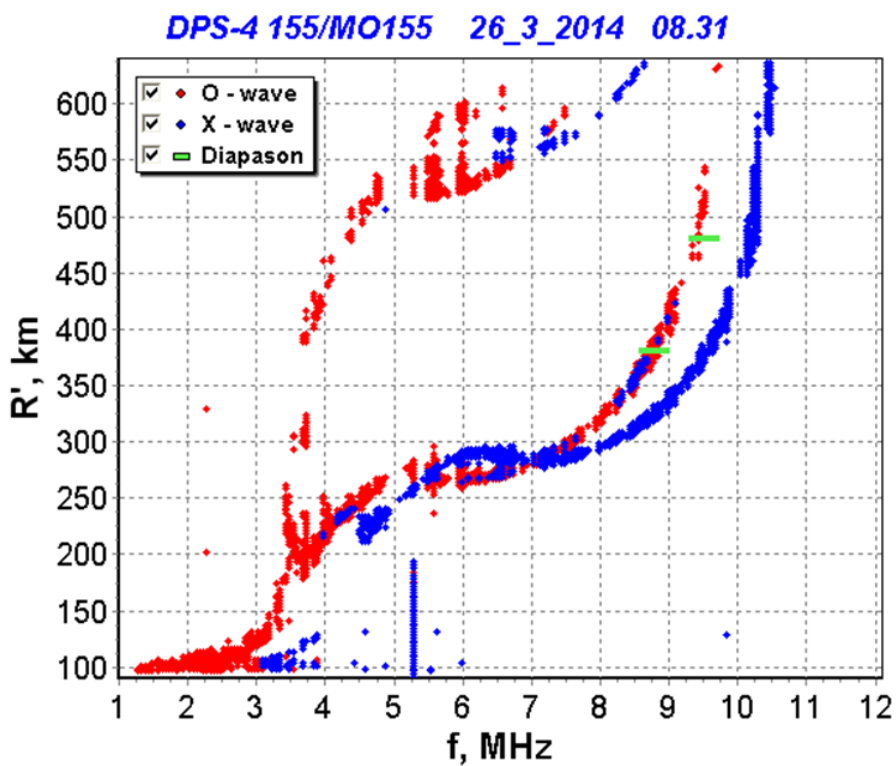


DPS-4 155/MO155 26_3_2014 00.46



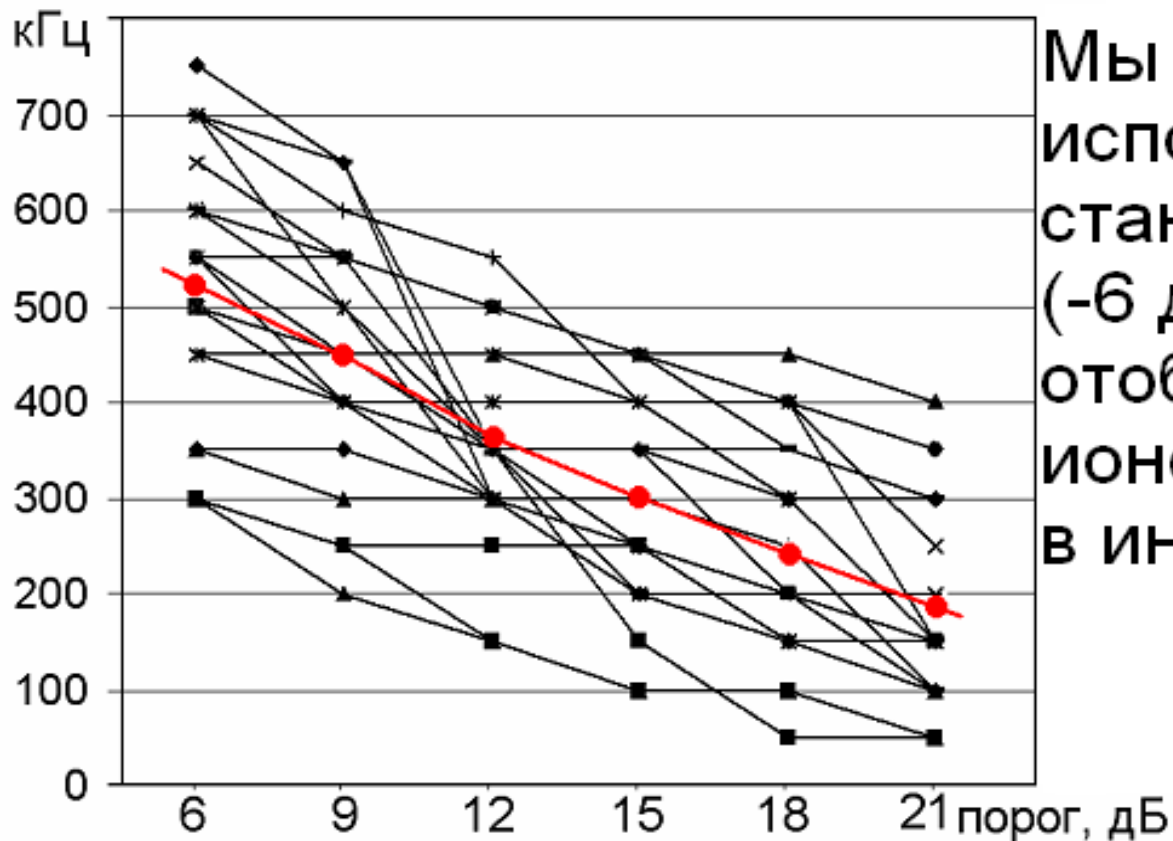
Из RSF-формата используется полная ионограмма с разбивкой по типам компонент отраженного сигнала

- Ионограммы, по данным RSF-формата ионозонда DPS-4.
- Слева случай отсутствия F-рассеяния, справа ионограмма с F-рассеянием. Красным цветом показаны отражения волны обыкновенной поляризации («O»-волны), а синим отражения волны необыкновенной поляризации («X»-волны).



Выбор порога отображения ионограммы (-6 дБ)

- Нами ранее доказана зависимость ширины ионограммы по частоте от выбранного порога отображения ионограммы. Чёрные – индивидуальные зависимости для 18-ти типичных ионограмм с F-рассеянием, красная с кружками - усреднённая кривая. (DPS-4, зима 2013 г.)



Мы далее будем использовать стандартный порог (-6 дБ), как и отображаются ионограммы DPS-4 в интернете.

Выбор высотного интервала, где измеряется уширение ионограммы по частоте

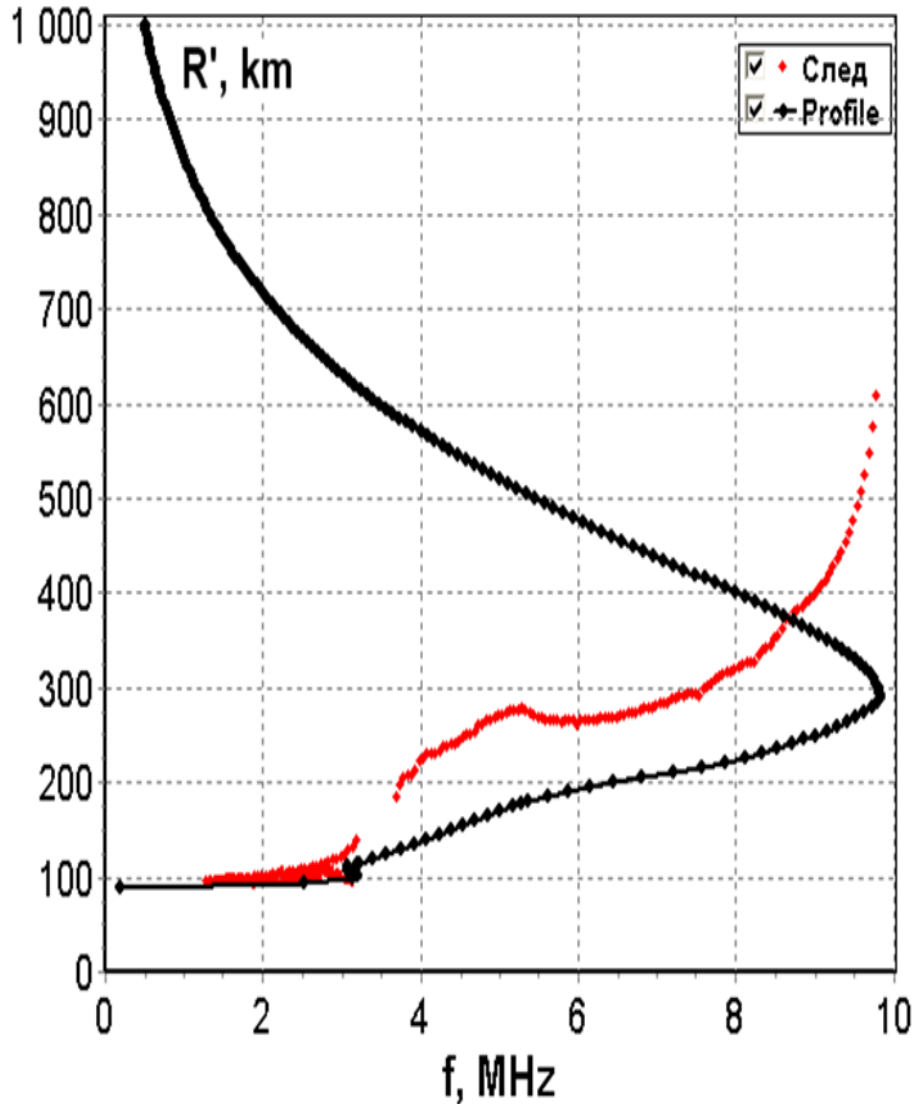
- Другим ключевым параметром в разрабатываемом алгоритме является интервал высот (начальная высота). Если выбрать эту высоту слишком большой, можно занизить ширину следа, из-за малого числа рассеянных отражений, входящих в выбранный интервал высот. Если выбрать начальную высоту интервала измерений слишком низкой, направление следа ионограммы на этом участке будет далеким от вертикального, и оценка ширины F -рассеяния по частоте будет завышенной.
- При автоматизированной обработке операцию выбора интервала высот необходимо было формализовать, что оказалось нелегко. Высоты ионограмм сильно варьируются ото дня к ночи и не только. **Надо было найти какой то опорный уровень, определяемый для каждой ионограммы, как делает оператор.**

Выбор высотного интервала, где измеряется уширение ионограммы по частоте

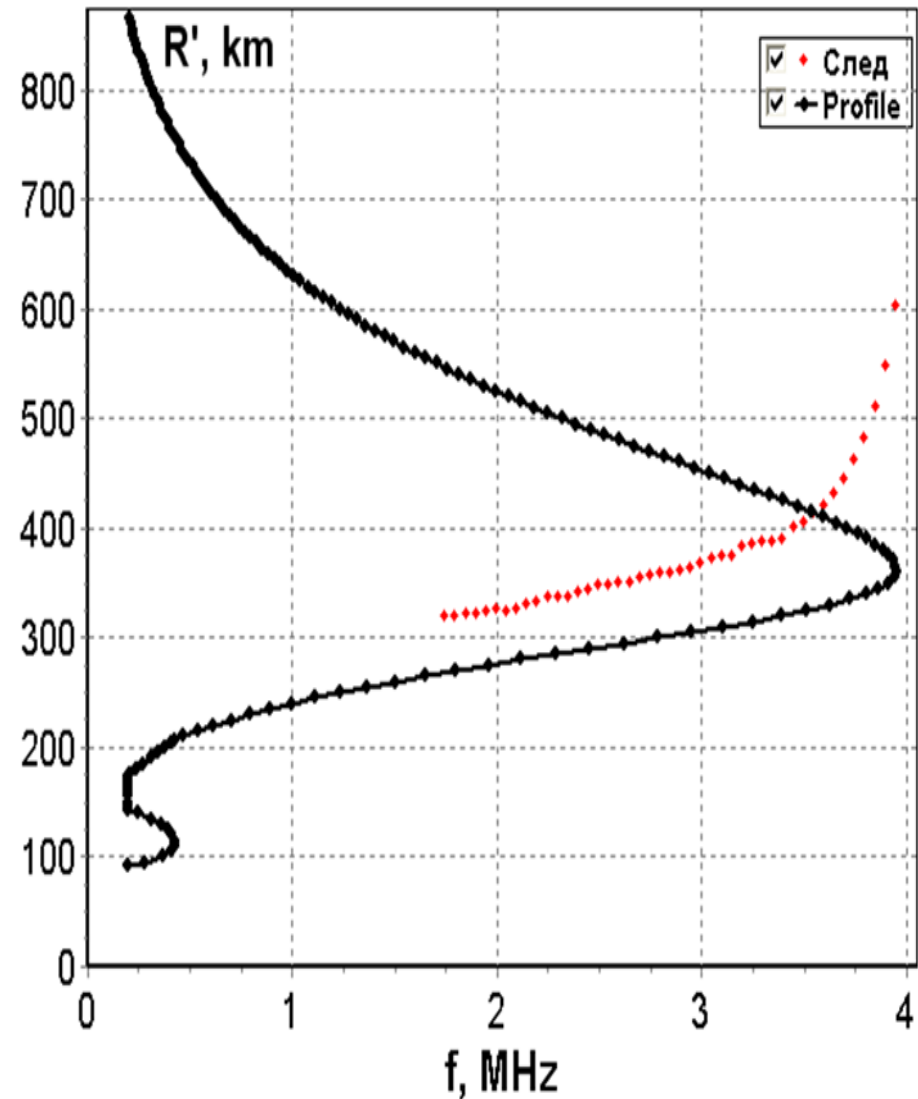
- Для определения интервала высоты при расчете F -рассеяния было предложено несколько критериев:
 - 1) кажущаяся высота появления F -рассеяния принималась **не ниже 280 км**,
 - 2) кажущаяся высота появления F -рассеяния принималась выше максимума слоя **$hmF2$** , рассчитанного на DPS-4 программой *ARTIST-5.0*,
 - 3) начальная высота определялась из взаимного положения кривых, описывающих основной след (**красная кривая на следующем слайде**) и восстановленный по ней профиль электронной концентрации ионосферы (**черная кривая**)

Выбор высотного интервала, где измеряется уширение ионограммы по частоте

DPS-4 155/MO155 26_3_2014 08.31



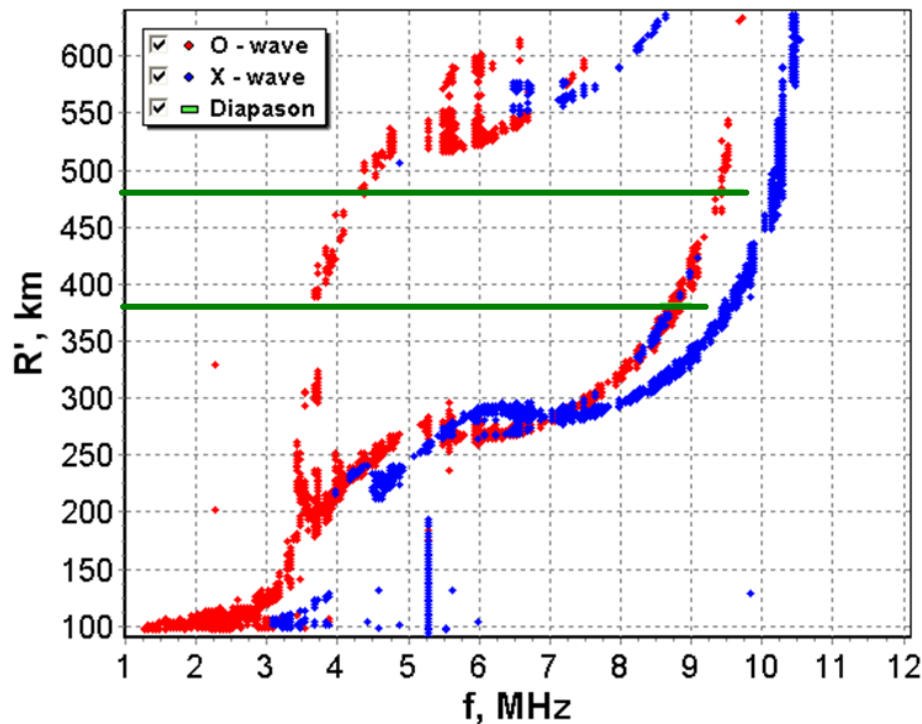
DPS-4 155/MO155 26_3_2014 00.46



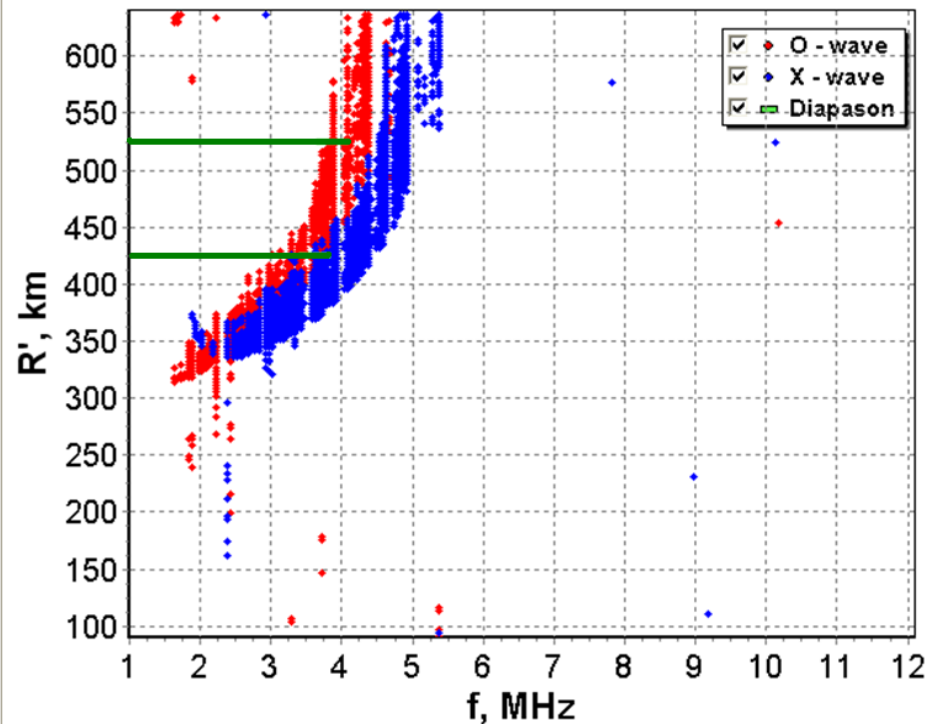
Выбор высотного интервала, где измеряется уширение ионограммы по частоте

• Рабочий интервал высот связан с базовой высотой соотношением $h = [H_0 + 10; H_0 + 110]$. Эти интервалы отмечены зелёными горизонтальными линиями на этом слайде. В первом случае $h = [380; 480]$ км, во втором $h = [425; 525]$ км.

DPS-4 155/MO155 26_3_2014 08.31

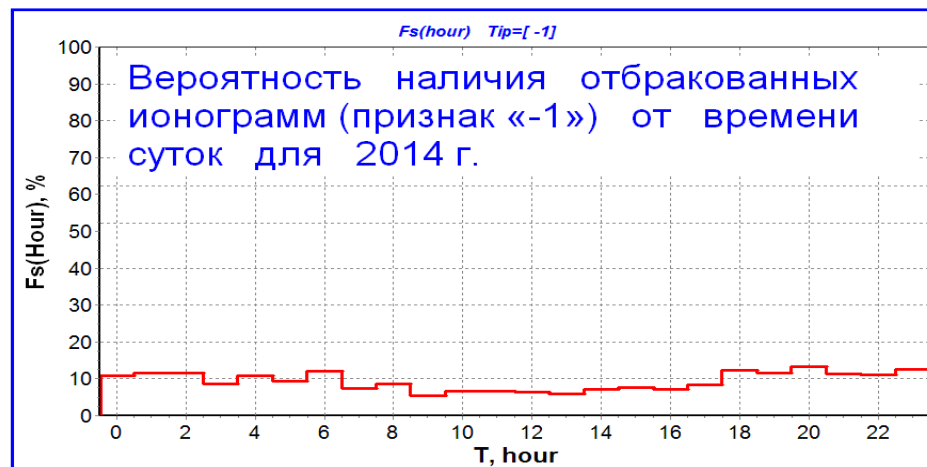
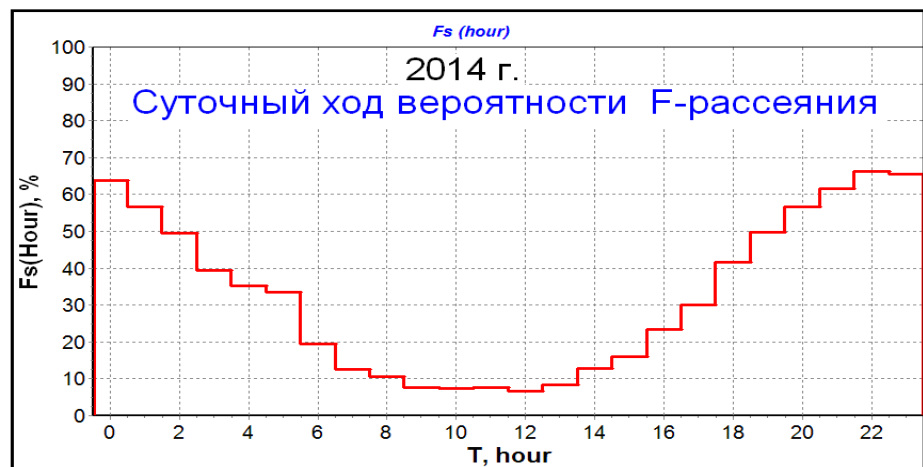
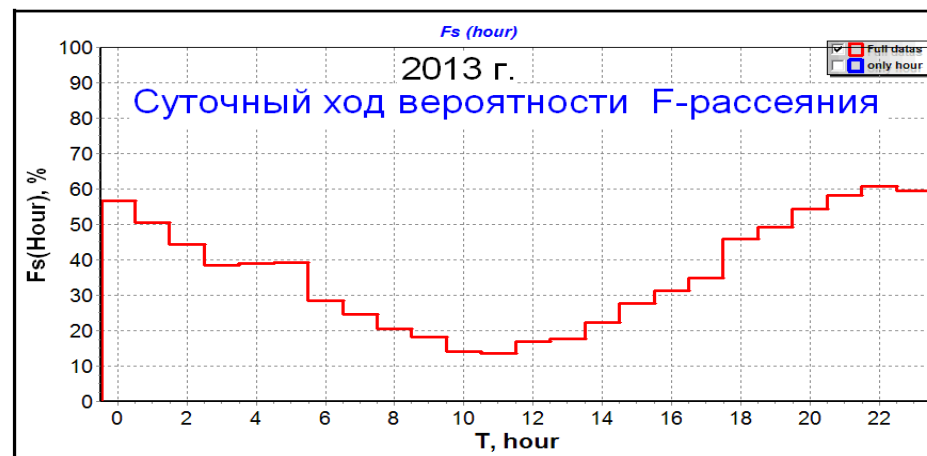
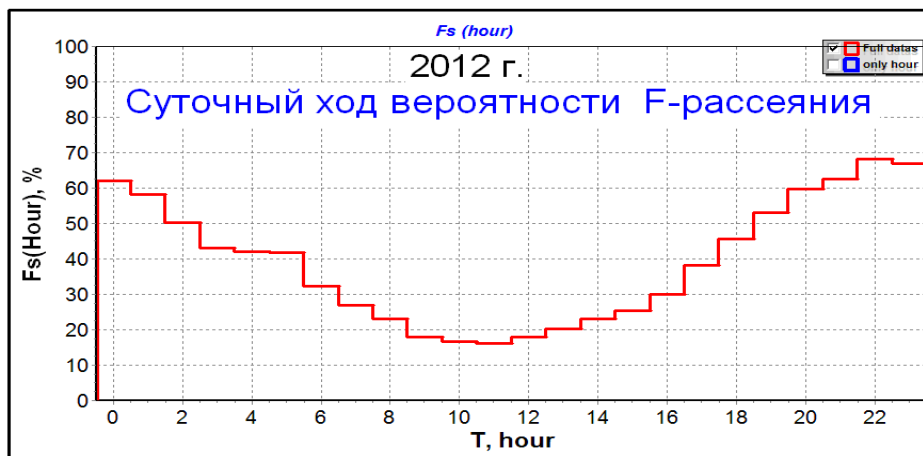


DPS-4 155/MO155 26_3_2014 00.46



Результаты автоматической обработки

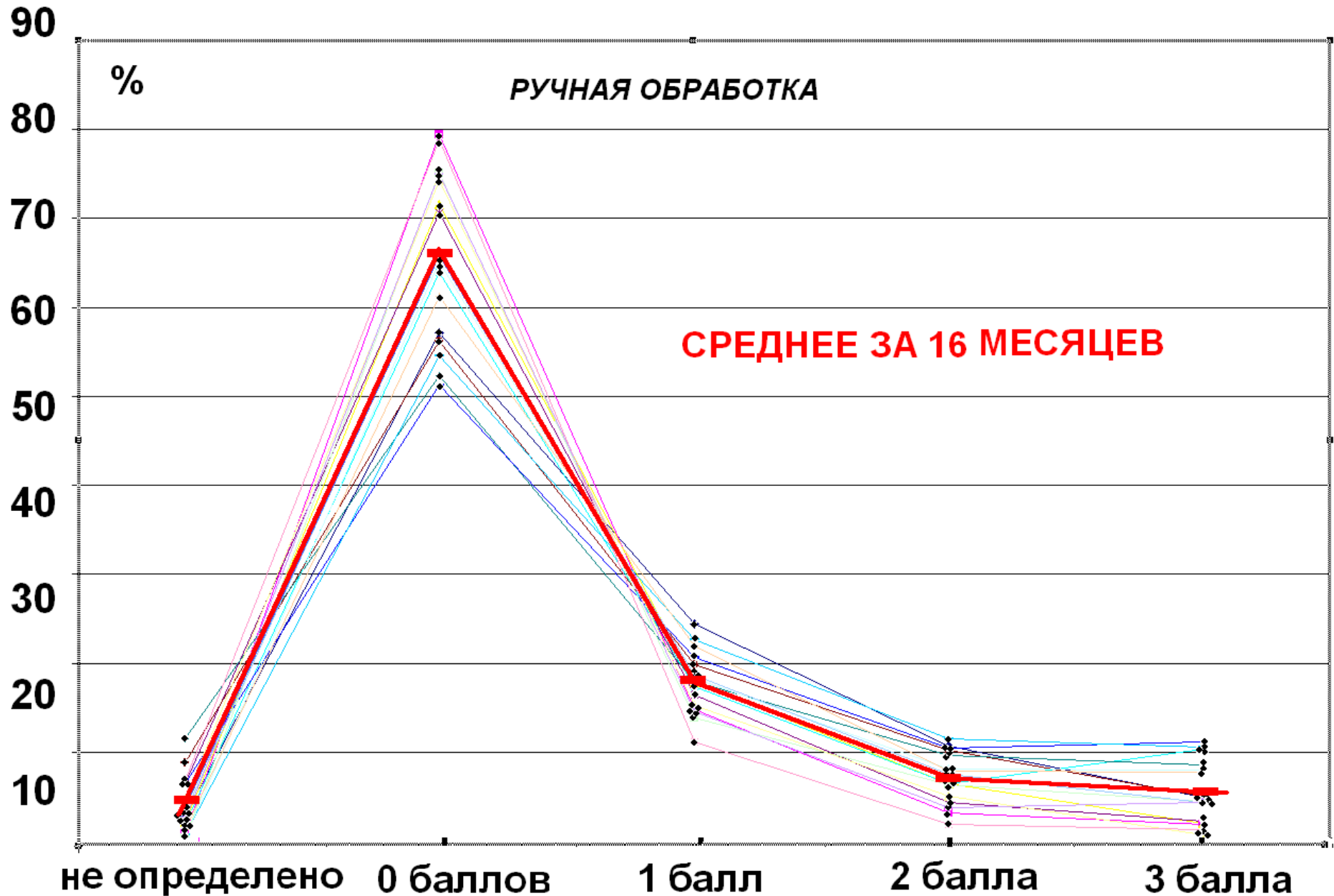
- Гистограммы суточного хода вероятности появления F-рассеяния, соответственно для 2012, 2013, 2014 гг., полученные с помощью нашего автоматизированного алгоритма



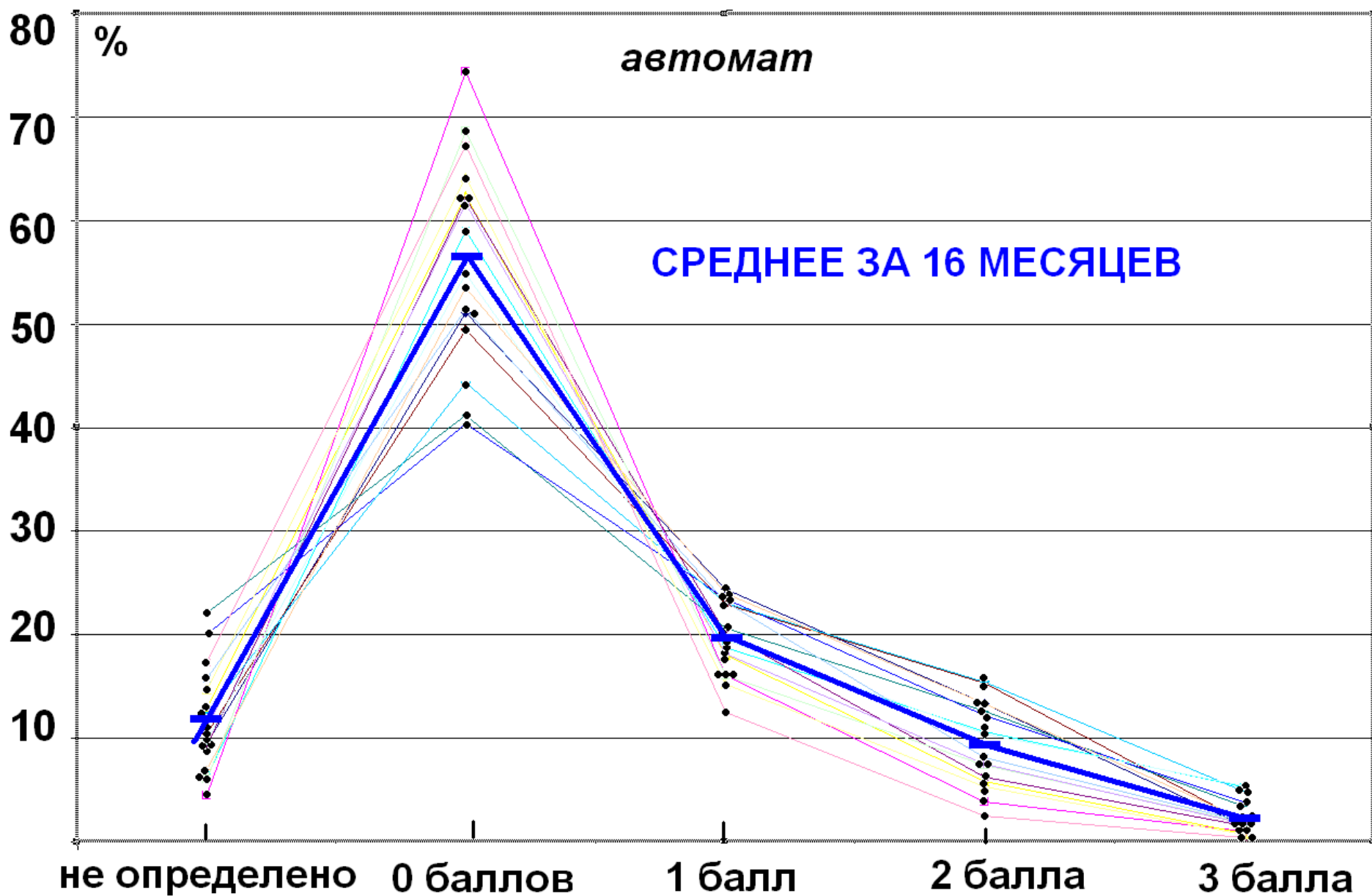
Причины ошибок автомата определения F-рассеяния



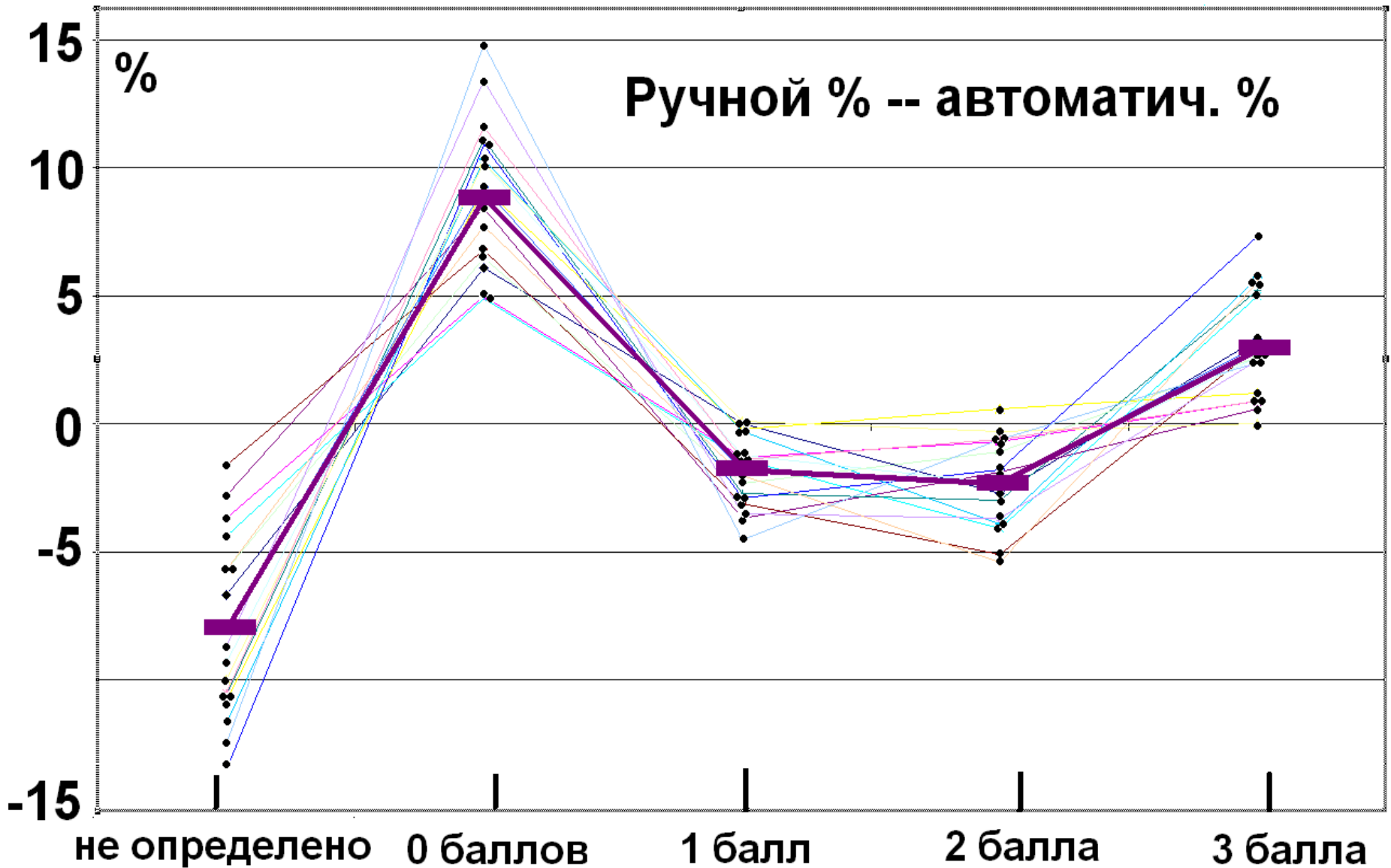
РУЧНАЯ ОБРАБОТКА, БАЛЛЫ В ПРОЦЕНТАХ



АВТО ОБРАБОТКА, БАЛЛЫ В ПРОЦЕНТАХ



Ручной % - Авто % (по баллам)



Заключение

• Построенный нами алгоритм и реализующие его программы показали свою работоспособность и хорошее статистическое совпадение результатов с ручными расчётами. Сравнение сделано за 16 месяцев, (*более 46 000 ионограмм*). Процент ошибок данного алгоритма и точность определения индекса рассеяния сопоставимы с точностью работы основного алгоритма станций DPS-4 (программа ARTIST-5.0).