## ОТЧЁТ

## о выполненной научно-исследовательской работе

# «Анализ и систематизация данных регистрации высокочастотного излучения молниевых разрядов спутником «Чибис-М» за период с 2012 по 2014 год»

Нижний Новгород, 2017

Данная работа выполнена в рамках договора между ИКИ РАН (заказчик) и ИПФ РАН (исполнитель) № 171201439/17-11.1 от 17 октября 2017 года на выполнение научноисследовательских работ в рамках реализации проекта Российского научного фонда № 17-12-01439 (руководитель проекта А.А. Чилингарян).

Целью работы является обработка, анализ и систематизация результатов регистрации микроспутником «Чибис-М» мощных всплесков высокочастотного излучения от областей грозовой активности за период с 2012 по 2014 год. Отечественный академический микроспутник «Чибис-М» начал свою работу на орбите в января 2012 года [Зелёный и др., 2014]. Данный космический аппарат был изначально нацелен на исследование излучения молниевых разрядов, поэтому в состав его научно-измерительного комплекса были включены, в частности, радиочастотный анализатор с частотной полосой 26÷48 МГц, рентген-гамма и ультрафиолетовый детекторы, а также цифровая камера. За два с половиной года работы спутник «Чибис-М» зарегистрировал более 400 мощных всплесков высокочастотного излучения. Одним из важнейших выводов, сделанных в ходе миссии «Чибис-М» на основе данных радиочастотного анализатора, было существование нескольких классов морфологически различных компонент высокочастотных спектров, которые могут быть интерпретированы как результат развития различных типов электрических разрядов в грозовых облаках [Иудин и др., 2017]. В отличие от данных, полученных ранее спутниками ALEXIS (Array of Low Energy X-ray Imaging Sensors) и FORTE (Fast On-orbit Recording of Transient Events), многие построенные по данным «Чибис-М» спектрограммы высокочастотных сигналов имеют более сложную структуру. Прежде всего, помимо пар коротких мощных всплесков излучения (в англоязычной литературе это явление носит название Translonospheric Pulse Pairs, TIPPs), на значительной части спектрограмм присутствуют длительные (иногда в течение десятков миллисекунд) интенсивные шумовые Исследование частоты появления, характеристик и относительного компоненты. расположения шумовых и импульсных компонент на динамических спектрах, построенных по данным радиочастотного анализатора, представляет основную цель настоящей работы.

Вследствие специфики миссии микроспутника «Чибис-М» (это первый из предполагаемой серии подобных космических аппаратов, поэтому значительная часть времени миссии была потрачена на отладку систем и приборов, выбор оптимального режима наблюдений и т.п.), большая часть данных радиочастотного анализатора непригодна для обработки и анализа, поскольку содержит сигналы очевидно искусственного происхождения, получена в моменты переключения режимов работы радиочастотного анализатора и т.п. В этой связи из полученных в ходе миссии «Чибис-М» 399 записей высокочастотного излучения (реализаций) пригодными к дальнейшей обработке оказались 97 реализаций, что составляет 24,3% от полного числа записей. Кроме того, в подавляющем большинстве реализаций превышено предельное значение регистрации радиочастотного анализатора (см. далее), что приводит к искажению фурье-спектров, построенных по этим данным, и невозможности их сопоставления с результатами модельных расчётов. Несмотря на указанные выше ограничения и недостатки данных, анализ данных радиочастотного анализатора позволил сделать несколько важных выводов о характеристиках шумовых и импульсных элементов динамических спектров.

Для обработки данных радиочастотного анализатора была разработана электронная система, в качестве входной информации которой использовались стандартные файлы регистрации электрического поля в отдельных сеансах наблюдений. Вид интерфейса системы и пример характеристик отдельных спектральных компонент приведён на рис.1. На основе временной реализации сигнала (верхняя панель на интерфейсе) система строит его

динамический спектр (нижняя панель на интерфейсе). Система предусматривает возможность компенсации дисперсии сигналов (различного времени распространения до точки регистрации для излучения с разной частотой), обусловленной прохождением высокочастотного излучения от грозового облака через ионосферу (см. рис.2), а также определить основные характеристики отдельных шумовых и импульсных спектральных каждой широкополосной импульсной компонент. Для компоненты определялись длительности первого и второго импульсов, время задержки между импульсами и (при возможности) максимальные значения спектральной плотности мощности излучения каждого импульса. В случае одиночного импульса время задержки между импульсами полагалось равным нулю. Кроме того, для импульсной компоненты рассчитывались углы прихода сигнала на спутник относительно надира в предположении, что высота источника (в качестве которого рассматривался компактный внутриоблачный разряд) составляет 6 или 12 километров над землёй (см. рис.3). Для каждого шумового элемента динамического спектра определялась его спектральная полоса, длительность и (при возможности) максимальное значение спектральной плотности мощности. Тонкая временная структура шумовых компонент, хорошо различимая на ряде реализаций, не анализировалась. Необходимо отметить, что разработанная система обработки данных достаточно универсальна и может быть впоследствии использована для соответствующей отработки результатов как уже состоявшихся (ALEXIS, FORTE), так и планируемых (TARANIS (Tool for the Analysis of RAdiation from lightNIng and Sprites), «Чибис-АЕ») спутниковых экспериментов.



Рис.1. Интерфейс системы обработки данных



Рис.2. Пример компенсации частотной дисперсии на динамическом спектре при обработке данных: динамический спектр отдельной реализации до (верхняя панель) и после (нижняя панель) компенсации

Далее представлены результаты первичной обработки данных радиочастотного анализатора для 97 записей, пригодных к обработке. Для каждой реализации приведены осциллограмма электрического поля в точке приёма и соответствующий динамический спектр; дата и время записи, а также координаты спутника в момент записи указаны над осциллограммой и спектром. В таблице для каждой реализации представлены характеристики различимых на динамическом спектре шумовых и импульсных компонент (см. выше описание интерфейса системы обработки данных). Длительности первой и второй (при наличии) импульсных компонент и задержка между ними даны в миллисекундах, угол прихода сигнала<sup>1</sup> дан в градусах, частотная полоса шумовой компоненты приведена в мегагерцах, длительность шумовой компоненты — в миллисекундах. Амплитуда шумовых и импульсных компонент нормирована на 1 мВ<sup>2</sup>/(м<sup>2</sup>·Гц). Характеристики спектральных элементов в большинстве случаев расположены в таблице в порядке появления последних на динамическом спектре,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Угол прихода сигнала для парных импульсных компонент в таблицах соответствует высоте источника, равной 12 км. Статистика углов прихода сигнала для высоты источника, равной 6 км, приведены после результатов обработки данных.

номера элементов указаны на динамическом спектре. Характеристики импульсных и шумовых элементов приведены в колонках «TIPP» и «Noise» соответственно. В таблицах отмечены случаи, когда вследствие насыщения датчика невозможно указать максимальное значение спектральной плотности мощности для какого-либо элемента. Кроме того, для импульсных компонент построены спектры прямого и (при наличии) отражённого импульсов, в том числе в случае насыщения датчиков.



Рис.3. Схема лучевых траекторий для определения угла прихода сигнала относительно надира при высоте источника 12 км над землёй: S и T – положение спутника и источника сигнала соответственно, высота орбиты спутника полагалась равной 500 км. Аналогично рассчитывались углы прихода для высоты источника, равной 6 км



Собы-		TIPP				Noise	
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					27-43,5	0,6381	насыщ.
2	0,0065	0	насыщ.				







Собы-		TIPP				Noise	
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					28-44,5	0,0885	насыщ.
2					28,5-41,63	0,081	насыщ.
3					28,5-42,4	0,0865	насыщ.
4					28,3-42,5	0,0655	насыщ.
5	0,0055/0,0050	0,015	375/356	66,13			
6					28-42,5	0,1045	насыщ.
7	0,0075/0,0065	0,015	328/320	66,13			

#### Событие 5 (прямой и отражённый сигналы)



Событие 7 (прямой и отражённый сигналы)









Собы		TIPP			Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Уго л	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,011	0	насыщ.				
2	0,0115	0	насыщ.				
3					29-45	0,3345	насыщ.
4					29-41,6	0,028	508
5					29-40,8	0,042	508
6					27,9-41,25	0,2655 ->	насыщ.



Событие 2





Собы-		TIPP				Noise	
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,055	0	насыщ.				
2					28,7-40,13	<- 0.2695	насыщ.
3					28,13-46,31	0,186	насыщ.
4					29-42,2	0,032	504





Cofurna	TIPP					
Соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол		
1	0,0065/0,0060	0,013	насыщ.	66,69		

#### Событие 1 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-		TIPP					
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					28,7-43,7	0,4065	насыщ.
2	0,012/0,0085	0,035	480/332	57,18			
3	0,0065/0,007	0,049	224/236	47,88			

#### Событие 2 (прямой и отражённый сигналы)





Событие 3 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-	TIPP			Noise			
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,0045	0	444				
2					28,7-45,2	0,019	460
3					28,1-44,8	0,238	насыщ.
4					28,3-45,7	0,02	504
5	0,009/0,01	0,018	488/508	65,16			
6	0,0055	0	320				

Событие 1



Событие 5 (прямой и отражённый сигналы)





Событие 6





Собы-	Собы- ТІРР				Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,075	0	насыщ.				
2					28,3-43,7	0,4885	насыщ.
3	0,006/0,0075	0,012	144/240	66,94			

Событие 1



Событие 3 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-		TIPP				Noise	
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					29,25-42,5	0,369	насыщ.
2					28,8-43,3	0,057	насыщ.
3	0,0075	0	364				













Собы-	TIPP			Noise			
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					28,9-43,3	0,157	насыщ.
2					27-45,75	0,277	насыщ.
3	0,01/0,01	0,012	492/412	66,94			

#### Событие 3 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-		TIPP				Noise	
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,01	0	насыщ.				
2					28,5-41,25	0,267	насыщ.





Noise							
Полоса	Длительность	Амплитуда					
28,13-43,7	0,459	насыщ.					
29,8-41,8	0,12	364					
29,85-42,56	0,037	292					



Noise						
Полоса	Длительность	Амплитуда				
28,13-43,5	0,075	464				
28,13-45,38	0,415	насыщ.				









### Событие 2 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-		TIPP				Noise	
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,009	0	408				
2					27,56-45,56	0,224	насыщ.
3					29,06-41,1	0,079	300







Coffee	TIPP				Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительност ь	Амплитуда
1	0,009	0	насыщ.				
2					27,56-43,88	0,17	насыщ.
				66,6			
3	0,008/0,008	0,013	384/436	9			
4					29,06-44,44	0,078	440
5					29,63-41,63	0,075	268
6					27,38-43,69	0,104	456
				66,			
7	0,008/0,008	0,013	228/224	69			

Событие 1



Событие 3 (прямой и отражённый сигналы)



Событие 7 (прямой и отражённый сигналы)









Собы-	TIPP				Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					28,5-42,56	<- 1,449	376
2	0,007	0	насыщ.				

![](_page_29_Figure_2.jpeg)

![](_page_29_Figure_3.jpeg)

![](_page_30_Figure_0.jpeg)

Собы-		TIPP				Noise	
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					27,75-1,303	<- 1,626	468
2	0,007	0	насыщ.				

![](_page_30_Figure_3.jpeg)

![](_page_31_Figure_0.jpeg)

Noise					
Полоса	Амплитуда				
27,75-41,81	0,13	348			

![](_page_32_Figure_0.jpeg)

Noise						
Полоса	Длительность	Амплитуда				
27,75-45,38	0,25	насыщ.				
28,13-44,44	0,11	444				
29,44-44,44	0,12	356				

![](_page_33_Figure_0.jpeg)

Собы-		TIPP				Noise	
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					27,94-46,88	<- 10,06	насыщ.
				64,4			
2	0,01/0,01	0,02	272/320	4			

![](_page_33_Figure_2.jpeg)

![](_page_33_Figure_3.jpeg)

![](_page_33_Figure_4.jpeg)

![](_page_34_Figure_0.jpeg)

Собь	Cofurtio		TIPP		
	соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол
	1	0,02/0,02	0,03	328/364	59,92

![](_page_34_Figure_2.jpeg)

![](_page_34_Figure_3.jpeg)

![](_page_35_Figure_0.jpeg)

Событие	TIPP						
	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол			
1	0,02/0,03	0,04	220/240	54,14			

Событие 1

![](_page_35_Figure_3.jpeg)


Cofurno		TIPP		
соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол
1	0,026/0,027	0,023	300/332	63,23
2	0,014/0,015	0,026	124/118	61,89
3	0,02/0,02	0,024	128/116	62,79















Собы-	TIPP				Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					29,25-43,88	0,077	188
				63,2			
2	0,02/0,03	0,023	128/140	3			







Собы-	TIPP			Noise			
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					28,31-42	2,249	насыщ.
2	0,02/0,03	0,023	128/140	63,23			











Событие 2





Собы-		TIPP			Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,02/0,02	0,069	насыщ.	28,63			
2					28,31-44,44	0,604	440







Cofurne	TIPP						
соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол			
1	0,012	0	424				
2	0,01	0	408				

## Событие 1 / Событие 2







Cofutio	TIPP						
Событие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол			
1	0,01/0,01	0,02	172/208	64,44			









Noise						
Полоса	Длительность	Амплитуда				
27,94-44,25	0,3	насыщ.				
29,81-41,63	0,16	472				



Событие	TIPP						
	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол			
1	0,01/0,01	0,02	352-292	64,44			
2	0,01/0,02	0,018	336-268	65,16			





Событие 2 (прямой и отражённый сигналы)







Cofurno	TIPP						
Событие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол			
1	0,01/0,01	0,03	316/348	59,92			







	TIPP						
Событие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол			
1	0,01/0,01	0,028	444/416	60,93			

Событие 1 (прямой и отражённый сигналы)







Noise					
Полоса	Длительность	Амплитуда			
28,31-44,36	0,074	336			



Собы-	TIPP			Noise			
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,01/0,01	0,03	236/228	59,92			
2					29,44-42,19	0,082	224
3	0,01	0	188				





Событие 2 (прямой и отражённый сигналы)





Собы-	TIPP			Noise			
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,0165/0,024	0,0465	212/324	49,74			
2					28,5-45	0,31352	452
3	0,013	0	216				
4	0,012/0,01	0,036	112/116	56,6			
5	0,013/0,015	0,037	108/112	56			









Событие 4 (прямой и отражённый сигналы)



Событие 5 (прямой и отражённый сигналы)











Собы-		Noise					
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					28,5-42,56	0,438	448
2	0,0085/0,009	0,0475	160/116	49,01			
3	0,009/0,009	0,046	112/76	50,1			







Событие 3 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-	TIPP				Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					28,31-44,81	0,3065	448
2	0,007/0,006	0,01	240/232	67,39			
3	0,007/0,007	0,011	320/272	67,17			
4	0,008	0	224				
5	0,006/0,006	0,04	160/152	54,14			





Событие 3 (прямой и отражённый сигналы)



Событие 4



Событие 5 (прямой и отражённый сигналы)







Cofurno	TIPP						
Событие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол			
1	0,0055	0	284				

Событие 1





Собы-	TIPP			Noise			
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,008	0	насыщ.				
2					27,94-43,13	<- 0,1984	376
3	0,012/0,01	0,0125	96/92	66,82			





Событие 3 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-	TIPP				Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					27,94-41,81	0,2365	404
2	0,0065/0,0065	0,0075	256/208	67,83			
3	0,006/0,0062	0,011	356/272	67,17			
4	0,0095/0,009	0,024	220/188	62,8			









Событие 4 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-	TIPP				Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1	0,0095	0	436				
2					29,06-45	0,194	460
3					28,69-43,13	0,037	320

### Событие 1





Собы-	TIPP					Noise		
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда	
1	0,0055/0,006	0,0125	164/148	66,82				
2	0,0055/0,0055	0,014	248/236	66,42				





Событие 2 (прямой и отражённый сигналы)







Собы-		TIPP	Noise				
тие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	Полоса	Длительность	Амплитуда
1					28,13-45,19	0,4173	насыщ.
2	0,0075/0,0075	0,011	156/112	67,17			
3	0,008/0,008	0,01	208/164	67,39			
4	0,0075/0,008	0,012	100/76	66,94			
5	0,007/0,007	0,012	68/60	66,94			









Событие 4 (прямой и отражённый сигналы)



Событие 5 (прямой и отражённый сигналы)













Coference	TIPP							
Событие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол				
1	0,009/0,01	0,018	332/268	65,16				







Contractor	ТІРР							
Событие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол				
1	0,006	0	насыщ.					

Событие 1





	Noise						
Полоса	Длительность	Амплитуда					
30-42,19	0,34	404					
29,25-43,5	0,065	448					
28,5-42,19	0,066	440					


Noise				
Полоса	Длительность	Амплитуда		
27,56-42,56	0,7514	насыщ.		



	Noise	
Полоса	Длительность	Амплитуда
28,69-41,63	<- 2,425	насыщ.



Cofil	TIPP			Noise			
тио	Длительнос	Задержк	Амплитуд	Угол	Полоса	Длительно	Амплитуд
ТИС	ти	а	а	310/1	TIO/IOCa	СТЬ	а
					27,94-		
1					42,94	0,371	насыщ.
					28,13-		
2					42,19	0,028	480
					27,75-		
3					43,13	0,025	насыщ.
4	0,013	0	464				
5	0,019/0,011	0,032	252/236	58,86			

Событие 4



Событие 5 (прямой и отражённый сигналы)







Noise				
Полоса	Длительность	Амплитуда		
29,44-41,06	0,062	444		
28,69-43,5	0,162	насыщ.		



Continents	TIPP				
Соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	
1	0,013/0,013	0,015	228/256	66,13	
2	0,01/0,011	0,014	220/252	66,42	





Событие 2 (прямой и отражённый сигналы)







Contractor	TIPP				
Соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	
1	0,009/0,009	0,021	172/212	64,05	
2	0,009/0,010	0,019	152/152	64,81	
3	0,009/0,009	0,019	144/132	64,81	







Событие 2 (прямой и отражённый сигналы)



Событие 3 (прямой и отражённый сигналы)







Noise				
Полоса	Длительность	Амплитуда		
29,25-42,56	3,32	насыщ.		



Cofurmo	TIPP				
соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	
1	0,008	0	насыщ.		







Noise				
Полоса	Длительность	Амплитуда		
28,5-42,56	4,17	насыщ.		



Conturne	LIF F				
Событие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	
1	0,009	0	насыщ.		







Noise				
Полоса	Длительность	Амплитуда		
29,06-43,5	4,98	насыщ.		



Cofurne	TIPP				
Сооытие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	
1	0,009	0	насыщ.		

## Событие 1





Noise			
Полоса	Длительность	Амплитуда	
28,5-41,8	3,86	насыщ.	



	TIPP			
сооытие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол
1	0,009	0	348	







Cofurtio	TIPP				
соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол	
1	0,01	0	292		
2	0,008	0	116		
3	0,008	0	128		
4	0,008	0	108		

### Событие 1



# Событие 2 / Событие 3





Событие 4





Cofutio	TIPP			
соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол
1	0,011/0,011	0,014	160/128	66,42







Cofutio	ТІРР			
соовтие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол
1	0,009/0,009	0,012	160/160	







Cofurture		TIPP		
сооытие	Длительности	Задержка	Амплитуда	Угол
1	0,013/0,013	0,035	500/480	57,18









Noise			
Полоса	Длительность	Амплитуда	
28,5-41,44	2,945	насыщ.	

Приведённые выше результаты обработки данных 97 сеансов регистрации высокочастотного излучения тропосферных источников радиочастотным анализатором спутника «Чибис-М» позволяют сделать некоторые важные статистические выводы. Прежде всего, интерес представляют относительные частоты появления тех или иных сочетаний спектральных компонент. Необходимо отметить, что в одной реализации могут наблюдаться несколько типов элементов, полное число которых составляет 159. Из результатов обработки следует, что наиболее часто наблюдаемым элементом динамических спектров является широкополосный шум, частота появления которого составляет почти 46%, немного реже встречаются пары мощных коротких всплесков излучения (вероятность появления 35%), а реже всего наблюдаются одиночные всплески (см. табл.1).

Таблица 1

Тип элемента динамического спектра	Количество	Доля, %
одиночный импульс	30	18,87
двойной импульс	56	35,22
шум	73	45,91

Кроме того, интерес представляет статистика относительного расположения шумовых и импульсных элементов спектра. Так, шумовая компонента может начинаться мощным коротким всплеском (или серией коротких всплесков) излучения, заканчиваться им (ими) или начинаться/заканчиваться независимо от положения всплеска (серии всплесков). Соответствующая статистика приведена в табл.2 (число событий здесь нормировано на полное число реализаций), из которой видно, что чаще всего шумовое излучение прекращается после мощного импульса (или серии импульсов), а реже всего шум начинается после короткого мощного всплеска излучения.

Таблица 2

Состав реализации	Количество	Доля, %
импульсы, начинающие шум	9	9,28
импульсы, заканчивающие шум	20	20,62
импульсы внутри шумовой полосы	13	13,4

Статистика характеристик импульсных элементов динамических спектров приведена в виде гистограмм на рис.4-6: на рис.4 показано распределение длительностей одиночных и первых (в случае TIPPs) импульсов высокочастотного излучения по половинной спектральной плотности мощности, на рис.5 – аналогичное распределение для вторых (отражённых) импульсов, на рис.6 – распределение задержек между импульсами в паре. На рис.7 и 8 приведены гистограммы углов прихода пар импульсов высокочастотного излучения относительно надира (см.рис.3) при высоте расположения источника 6 и 12 километров соответственно. На рис.9 приведено распределение длительностей шумовых компонент высокочастотного излучения.



Рис.4. Гистограмма длительностей (в миллисекундах) первых в паре и одиночных импульсов высокочастотного излучения



Рис.5. Аналогичная рис.4 гистограмма длительностей вторых (отражённых) коротких импульсов высокочастотного излучения



Рис.6. Гистограмма задержек (в миллисекундах) между прямым и отражённым импульсами высокочастотного излучения в случае TIPPs



Рис.7. Гистограмма углов прихода (в градусах) пар импульсов высокочастотного излучения при высоте источника 6 км над землёй



Рис.8. Аналогичная приведённой на рис.7 гистограмма при высоте источника 12 км



Рис.9. Гистограмма длительностей (в миллисекундах) широкополосного высокочастотного шума на рассматриваемых спектрограммах

Интерпретация приведённых выше спектров в рамках представлений об источнике излучения как об одиночном линейном всплеске тока невозможна (подробнее см. [Иудин и Давыденко, 2015]). Однако это возможно в рамках представления разряда как фрактальной динамической структуры проводящих каналов, развивающейся в неоднородном электрическом поле грозового облака [Давыденко и Иудин, 2016]. Отметим, что в ряде случаев амплитуда регистрируемого высокочастотного поля в случае парных импульсов хорошо соответствует модельным расчётам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Зелёный Л.М., Гуревич А.В., Климов С.И. и др., Академический микроспутник «Чибис-М»// Космические исследования, 2014. Т.52, вып.2, стр.93.
- Иудин Д.И., Давыденко С.С., Готлиб В.М. и др., Физика молнии: новые подходы к моделированию и перспективы спутниковых наблюдений // УФН, 2017. DOI: 10.3367/UFNr.2017.04.038221 (принята к печати).
- 3. Иудин Д.И., Давыденко С.С., Фрактальная модель компактного внутриоблачного разряда. І. Особенности строения и эволюции // Известия вузов. Радиофизика. 2015, т.58, №7, стр.530-551.
- Давыденко С.С., Иудин Д.И., Фрактальная модель компактного внутриоблачного разряда. II. Особенности электромагнитного излучения // Известия вузов. Радиофизика. 2016, т.59, №7, стр.620-637.

## ПОДПИСИ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Шаталина М.В. (руководитель работы)

Емельянов А.А. (исполнитель)

Булатов А.А. (исполнитель)