

CONJUGATIVITY OF MAGNETIC SUBSTORMS  
WITHIN MIDDLE LATITUDES OF THE NORTHERN  
AND SOUTHERN HEMISPHERES

L. N. Yaremenko, T. A. Mozgovaya

The first attempts to distinguish conjugated sites of substorms within the northern and southern hemispheres revealed that it was not a point but an area, which is narrow in the latitudinal direction and distant in the longitudinal one. The area does not coincide with conjugated sites detected by whistles. According to data of observatories in the southern part of the Indian Ocean PAF, CZT and AMS, conjugated areas are chosen for each substorm from many European observatories situated on the same magnetic meridian. For PAF, at a quiet magnetic period conjugated area is detected near NUR or some northward, sometimes it is stretched up to LOV or BFE. During magnetic storms when PAF is subjected to the southern

polar flow or occurs southwards from its central line, the area conjugated with PAF in the north is situated near TRO, northward of SOD. The shift along L-shells is 4. Conjugated area with AMS in the case of slightly disturbed field may occur near BEL, NGK, WNG, at a quieter period near KIV or more eastward. Conjugated area with CZT is located near BUD, NCK, FUR, or in the case of very quiet conditions it can only be supposed in Greece or Turkey. In that case the current of substorm weakens very slowly in latitudinal direction, its intensity in NCK and TAM differs by 20—30 %. In America conjugated area with the station Academician Vernadsky is situated between FRD and OTT, moving along the latitude depending on magnetic activity. Conjugated area within the Australian-Far Eastern region is situated near ASP и STA, and the area conjugated with MMB is located in the region of CNB. Far Eastern region is specific by its instability. The intensities of substorm in Australia and Japan may change more than twofold in a short time.

УДК 550.385.36

© Л. Н. Яременко, Г. В. Мельник

Институт геофизики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України, Київ

МАГНИТНЫЕ БУРИ В ЭКВАТОРИАЛЬНОМ ПОЯСЕ  
И ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЯХ

Розглядаються особливості Dst-варіації в європейсько-африканському та австралійсько-далекосхідному меридіональному секторах. Зроблено спробу після виключення впливу суббур через різні залежності  $D_{st}$  і амплітуди суббур від широти по наземних спостереженнях Н-складової магнітного поля виділити частину Dst, максимально наближену до створюваної кільцевим екваторіальним струмом DR. Отримано, що амплітуда Dst максимальна на денному боці, а не на нічному, як вважалося раніше. У деяких випадках на півночі Європи спостерігається додатна  $D_{st}$ . Для розділення поля бурі на зовнішню та внутрішню частини проведено сферичний гармонічний аналіз. В Африці внутрішня частина поля бурі складає близько половини від інтенсивності поля зовнішньої частини. В австралійсько-далекосхідному регіоні ці поля рівні, що свідчить про високу провідність мантії в цьому регіоні.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с общепринятыми представлениями одной из наиболее полных характеристик магнитной бури являются  $D_{st}$ -вариации в  $H$ -компоненте, которые генерируются в основном кольцевым экваториальным током DR, токами хвоста магнитосферы, токами на границе магнитосферы. Вся система этих токов определяется приходом солнечных заряженных частиц, межпланетным магнитным полем, изменением составляющих этого поля, увеличением скорости и давления солнечного ветра и т. д.

Экваториальный кольцевой ток не является правильным кольцом, он довольно различен на ночной и дневной сторонах Земли и может отличаться при разных бурях.

Изменения магнитного поля во время магнитной бури состоят из нескольких фаз: начальной, глав-

ной и фазы восстановления, представляющих вместе вариацию  $D_{st}$ , на которую накладываются магнитные суббури.

В данной работе рассматриваются особенности  $D_{st}$ -вариации магнитного поля для магнитных бурь: 15/16.05.1997 г., 6.08.1998 г., 15/16.07.2000 г., 31.03/1.04.2001 г., 11/12.04.2001 г. и 7/8.09.2002 г.  $D_{st}$ -вариация определялась путем исключения из наблюдаемых величин  $H$ -компонента суточной вариации за предшествующий и последующий за бурей спокойные дни для 15—20 обсерваторий экваториального пояса с привлечением среднеширотных обсерваторий. В данном случае была сделана попытка выделить вариацию по времени бури  $D_{st}$  без влияния суббур, используя различные зависимости  $D_{st}$  и суббурь от широты. Максимально приближенная к току DR часть  $D_{st}$  выделялась по наземным наблюдениям.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При рассмотрении особенностей протекания указанных магнитных бурь выяснилось, что уменьшение  $H$  происходит довольно быстро (от 1 до 3-4 ч), на всех 15—20 обсерваториях, данные которых могли быть использованы,  $D_{st}$  увеличивается от утренних часов к вечерним. В двух случаях  $D_{st}$  была максимальной в полуденное время (11.04.2001 и 07.09.2002 гг.), в четырех случаях максимум  $D_{st}$  наблюдался в обсерваториях, где было 17—18 ч местного времени. В ночное местное время происходило уменьшение величины  $D_{st}$ . Минимальной  $D_{st}$  наблюдалась в местности вблизи полночи или предутренние часы. Разница между максимальными и минимальными значениями для бури 31.03./1.04.2001 г. составила 160 нТл.

Таким образом,  $D_{st}$  имеет максимум на дневной стороне, а не на ночной, как считалось ранее (рис. 1).

По широте  $D_{st}$  уменьшается к полярным широтам, но в записях обсерватории HRN обнаружилась положительная  $D_{st}$ . При более интенсивных бурях зона положительных  $D_{st}$  может занимать всю северную Европу от NUR до BFE.

В бурю 15/16.07.2000 г. (рис. 2) положительная  $D_{st}$  наблюдалась в Европе в 14—20 ч UT с максимумом в 17—18 ч UT. По амплитуде (определяемой с исключением суббурь) наибольшие величины  $D_{st}$  отмечены в Соданкюля SOD, Абиско ABK (800 нТл), Тромсе TRO. К югу идет постепенное уменьшение и в районе Бельска BEL амплитуда положительной  $D_{st}$  составляет порядка 100 нТл. Еще южнее на всех обсерваториях регистрируется

отрицательная  $D_{st}$ . На других долготах положительная  $D_{st}$  во время этой бури видна в Нарсарсуаке NAQ в 15—20 ч UT (максимум приблизительно в 13 ч LT), в Бейкер-Лейк BLC в 13—20 ч UT (максимум в 9 ч 30 м LT), в Барроу BRW и Колледже СМО с максимумами около 6 ч LT.

В бурю 15.05.1997 г. (рис. 3) положительная  $D_{st}$  наблюдалась на северных обсерваториях в Европе с максимумом в SOD +500 нТл в 12—13 ч UT; севернее, в ABK, — с амплитудой 350 нТл, в TRO — +250 нТл. Еще севернее, в Хорзунде (HRN),  $D_{st}$  вновь стала отрицательной. К югу положительная  $D_{st}$  видна в NUR +200 нТл в 13—14 ч UT, в Лове (LOV) +150 нТл, в Лервике (LER) +100 нТл. На более южных обсерваториях  $D_{st}$  была отрицательной. По долготе явление положительного значения  $D_{st}$  наблюдалось в Годхауне (GDH) в 17 ч UT (или 11 ч LT) +150 нТл и в Кембридж-Бей (CBB) в 7 ч LT.

Таким образом, это явление возникает местным утром и продолжается в течение 4—6 ч. В Европе оно более продолжительное, в Америке сокращается до 2—3 ч и наблюдается на одной-двух обсерваториях. Сравнивая записи различных обсерваторий в Европе, видно, что это именно влияние  $D_{st}$ , на которое накладываются полярные суббури. Ранее в

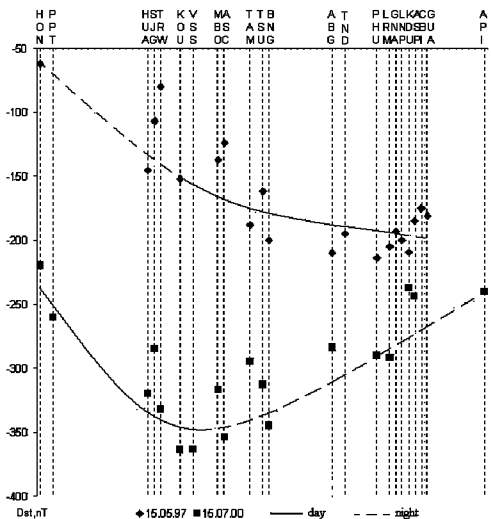


Рис. 1. Значения  $D_{st}$  в минимуме для магнитных бурь 15.05.97 г. и 15.07.2000 г.

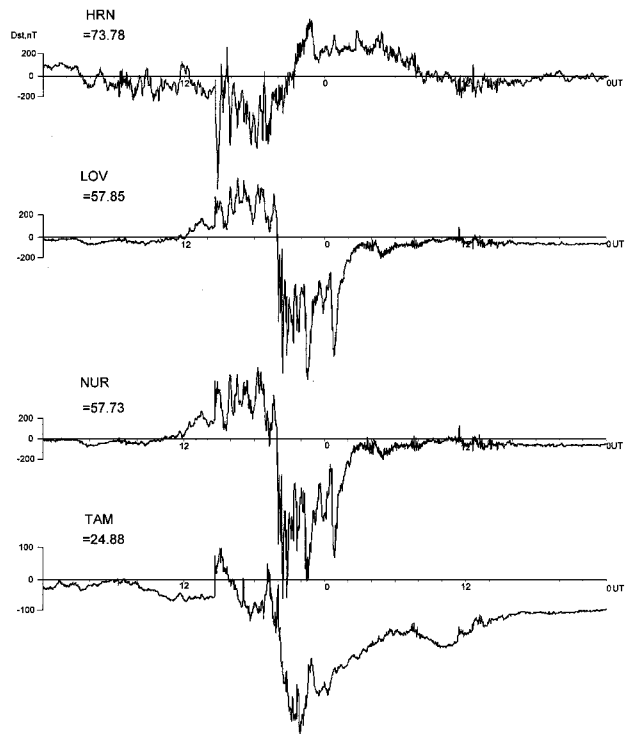


Рис. 2. Вариации  $D_{st}$  во время магнитной бури 15/16 июля 2000г.

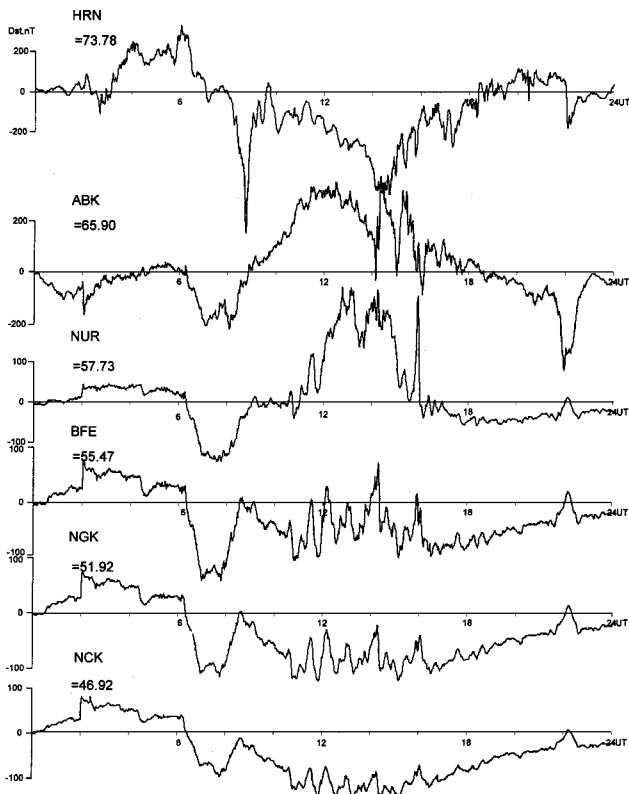


Рис. 3. Вариации  $D_{st}$  во время магнитной бури 15 мая 1997 г.

работах по полярным областям оно интерпретировалось как длительное полярное возмущение [1, 2]. На самом деле это влияние тока DR, который, по-видимому, проникает в полярные широты по силовым линиям на утренней стороне, что согласуется с данными [3]. Суббури при этом происходят своим чередом, накладываясь как на положительную, так и на отрицательную  $D_{st}$ .

По результатам наблюдений магнитной бури 06/07.04.2000 г. в европейско-африканском и австрало-азиатском регионах был выполнен сферический гармонический анализ с целью разделения поля бури на внешнюю и внутреннюю части. Так как вариации  $D_{st}$  уменьшаются от экватора к полюсам, а магнитные суббури к северу и югу увеличивают свои амплитуды, была сделана попытка, исключая суббури, выделить часть, создаваемую током DR. Использовались минутные значения следующих обсерваторий: в европейско-африканском регионе — Нимек (NGK), Фюрстенфельдбрук (FUR), Будков (BDV), Нагисенк (NCK), Сан-Пабло-Толедо (SPT), Таманрассет (TAM), Мбур (MBO), Банги (BNG), в южном полушарии — Тананариве (TAN), Хатебишоек (НВК), Германус (HER), Мартин-де-Вивес (AMS); в австрало-азиатском регионе

— Мемамбецу (ММВ), Баянг Минг Томбс (ВМТ), Какиока (КАК), Каноя (КНУ), Чичииджима (СБИ), Лунпинг (LNP), Пхитхай (PHU), Гуам (GUA), Апия (API), Чартер — Тоуерс (СТА), Лермонт (LRM), Алиса-Спрингс (ASP), Гнангара (GNA), Канберра (СНВ), Еурвелл (EYR), расположенные по геомагнитной широте. Профиль обсерваторий с севера и с юга ограничивался зонами протекания полярных электроструй.

Сферический гармонический анализ (СГА) выполнен по формулам:

$$X = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^n (r_n^m \cos mt + s_n^m \sin mt) \frac{dP_n^m(\cos \theta)}{d\theta},$$

$$Z = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^n (u_n^m \cos mt + v_n^m \sin mt) P_n^m(\cos \theta).$$

Время отсчитывалось от начала бури. Так как начальные фазы бурь недлительны, иногда почти отсутствуют, главные фазы большей частью продолжаются 2-3 ч, а фаза восстановления длится 2-3 сут, основное внимание было обращено на главную фазу и область минимума  $X$ . Чтобы она не нивелировалась при анализе, фаза восстановления была искусственно сокращена так, чтобы вся буря закончилась в 24 ч. Это дало возможность иметь больше точек, характеризующих главную фазу и область минимума. Разброс точек между данными отдельных обсерваторий обусловлен, в основном, местными причинами и неравномерностью течения токов. Кроме основного тока в магнитосфере, направленного с востока на запад, по наблюдениям  $Y$  явно видны меридиональные токи. Интенсивность создаваемых ими вариаций  $Y$  достигает 60—100 нТл в районе Японии и Китая, 200 нТл в р-не Макуори, 200—300 нТл на обсерваториях вблизи Северного Ледовитого океана, 150—200 нТл в Бельске, больше 100 нТл в Сахаре в ТАМ, 100—120 нТл в центре Африки в Банги. Все это вносит искажения в результаты наблюдений. Поэтому поэтапно при проведении СГА вносилось некоторое осреднение в исходные данные и коэффициенты гармонического анализа. Результаты СГА приведены в таблице. Далее по этим коэффициентам было проведено разделение полей на внешнюю и внутреннюю части по формулам

$$u_n^m = (n+1)g_n^m - n f_n^m, \quad v_n^m = (n+1)h_n^m - n k_n^m,$$

$$r_n^m = g_n^m + f_n^m, \quad s_n^m = h_n^m + k_n^m,$$

где  $g_n^m$  и  $h_n^m$  — коэффициенты, относящиеся к внутреннему полю,  $f_n^m$  и  $k_n^m$  — к внешнему полю. По данным таблицы и рис. 4 можно видеть, что в Африке коэффициенты внутренней части почти

Коэффициенты сферического анализа для магнитной бури 06/07.04.2000 г.

m/n	1	2	3	4	1	2	3	4	m/n	1	2	3	4	1	2	3	4
Евро-африканский меридиональный сектор									Австралийско-дальневосточный меридиональный сектор								
	$s_n^m$				$r_n^m$					$s_n^m$				$r_n^m$			
1	5.32	-56.50	-3.00	-11.15	-24.68	78.28	-0.15	22.65	1	-40.42	-28.20	-11.95	-10.34	49.44	80.60	10.51	11.40
2		31.30	16.57	-9.99		-16.96	0.70	-3.56	2		25.62	14.94	8.39		54.36	22.99	17.80
3			1.89	-0.78			-5.83	-2.37	3			2.63	3.64			2.21	-0.23
4				0.58				-2.66	4				-0.46				-0.05
	$u_n^m$				$v_n^m$					$u_n^m$				$v_n^m$			
1	0.14	-10.09	-4.91	8.29	-2.88	27.54	-27.15	6.91	1	-4.68	-18.25	-5.76	8.46	7.69	-2.48	8.93	6.95
2		6.48	-16.81	4.98		-1.88	0.04	-1.73	2		1.67	3.35	1.47		-2.55	0.11	1.51
3			-0.64	-4.20			1.69	-4.32	3			3.79	5.02			-0.62	0.50
4				-3.33				-2.55	4				0.79				-0.25
	$f_n^m$				$k_n^m$					$f_n^m$				$k_n^m$			
1	-16.50	48.99	0.62	11.66	4.51	-39.41	2.16	-6.96	1	30.40	48.86	4.73	7.11	-25.39	-13.27	-6.01	-6.68
2		17.48	11.87	-6.10		-9.80	0.39	-1.78	2		33.13	13.12	9.72		15.04	8.06	4.50
3			1.17	0.03			-3.57	-0.84	3			1.35	-0.18			0.96	1.46
4				0.69				-1.19	4				0.00				-0.34
	$g_n^m$				$h_n^m$					$g_n^m$				$h_n^m$			
1	-8.18	29.29	-0.77	10.99	-0.81	-17.09	-5.16	-4.19	1	19.04	31.74	5.78	4.29	-15.03	-14.93	-5.94	-3.66
2		13.82	4.70	-3.89		-7.16	0.31	-1.78	2		21.23	9.87	8.08		10.58	6.88	3.89
3			0.78	-0.81			-2.26	-1.53	3			0.86	-0.05			1.67	2.18
4				-0.11				-1.47	4				-0.05				-0.12

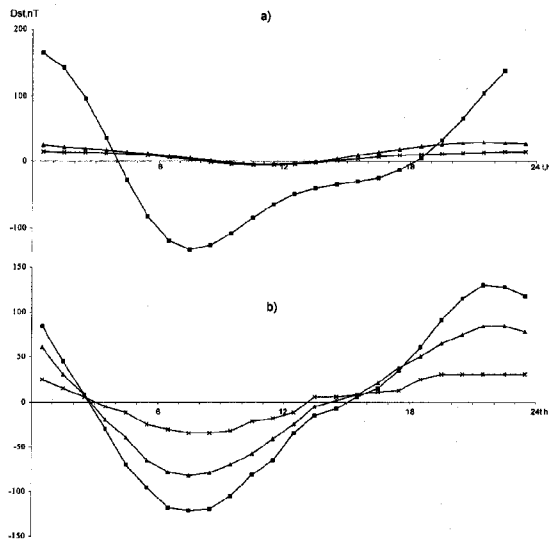


Рис. 4. Синтезированные поля для  $\Phi = 5^\circ$  в австралийском (а) и африканском (б) секторах

вдвое меньше внешней, а в австрало-азиатском регионе они почти равны, т. е. проводимость в мантии в этом регионе настолько выше по сравнению с Африкой, что внутренний индуцированный ток приблизительно равен внешнему. Глубины индуцированных токов магнитных бурь соответствуют средней мантии. Это доказывает, что в средней мантии проводимость изменяется по горизонтали и различна в отдельных регионах.

ВЫВОДЫ

1. При выделении максимально приближенной к создаваемой током DR части  $D_{st}$  по наземным наблюдениям получено, что она имеет максимум на дневной стороне.
2. Ток DR может проникать по силовым линиям в полярные широты и создавать положительную  $D_{st}$ , область которой при сильных магнитных бурях распространяется до  $55^\circ$  геомагнитной широты.
3. По результатам сферического анализа установлено, что внутренний ток в Африке приблизительно вдвое слабее внешнего, а в австрало-азиатском регионе эти токи равны. Можно предположить, что в средней мантии проводимость изменяется по горизонтали и различна в отдельных регионах.

1. Гельберг М. Г., Кершенгольц С. З. Авроральные возмущения в период прихода к Земле магнитных облаков // Геомагнетизм и аэрономия.—2002.—42, № 1.—С. 36—41.
2. Гельберг М. Г., Кершенгольц С. З., Шараева С. В. Взаимосвязь между классами солнечных источников корпускулярных потоков межпланетной плазмы и типами длительных авроральных возмущений на Земле // Геомагнетизм и аэрономия.—2001.—41, № 1.—С. 23—32.
3. Farrugia F. J. et al. Geoeffectiveness of try Wind magnetic clouds: a comparative study // J. Geophys. Res.—1998.—103.—P. 17261—17278.

MAGNETIC STORMS IN THE EQUATORIAL BELT AND IN POLAR REGIONS

L. N. Yaremenko, G. V. Melnik

The features of the Dst-variations in Europe-African and Australian-Far Eastern meridional sectors are considered. An attempt is made

to select Dst-part, which is the most approached the field created by the ring current DR, using the 1-min ground magnetometer H-component measurement data. The substorm contribution is excepted following the difference of the latitude depending on the Dst-variation and the substorm amplitude. It is found that the Dst-variation has more amplitude on the daily earth side, not on the nightly one as it was supposed before. For some storms the positive Dst-variation

in the northern Europe are observed. The storm field division on the external and internal parts is achieved by means of the sphere harmonic analysis. In Africa, the internal field part equals about a half of the external part, while in the Australian-Far Eastern region these fields are equal, which points to a high mantle conductivity in the region.

УДК 550.388, 621.371

© В. Н. Лысенко, Ю. В. Черняк

Інститут іоносфери Національної академії наук України і Міністерства освіти і науки України, Харків

## ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ВО ВРЕМЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИОНОСФЕРЕ

Під час сильної магнітної бурі 30 травня 2003 р. на радарі некогерентного розсіяння (НР) Інституту іоносфери протягом 1.5 год в діапазоні висот 700—1200 км спостерігалася аномальна зміна спектру розсіяних іоносферною плазмою сигналів. Такий ефект на харківському радарі НР зареєстровано вперше. Наведено результати спостережень і методика вимірювань параметрів збуреної іоносфери.

### ВВЕДЕНИЕ

Диагностика и прогнозирование состояния возмущенной ионосферы во время геомагнитной бури являются актуальными направлениями физики ионосферы. Ее исследование в спокойном и возмущенном состоянии методом некогерентного рассеяния (НР) радиоволн позволяет определить экспериментально основные параметры ионосферной плазмы, такие как электронная концентрация  $N_e$ , ионная  $T_i$  и электронная  $T_e$  температуры, скорость дрейфа  $V_d$  ионосферной плазмы, ионный состав по измеренным корреляционным либо спектральным функциям НР-сигнала. Методики обработки НР-сигнала обычно не отличаются для спокойной и возмущенной ионосфер, так как связь между ними и спектром тепловых флуктуаций электронной плотности не изменяется в условиях естественных возмущений. Целью работы является изложение методики измерения параметров возмущенной ионосферы и аномальных результатов наблюдений, полученных на Харьковском радаре впервые.

### ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ СИГНАЛА

Радар НР Института ионосферы [3] находится в точке с географическими координатами 49.6° N;

36.3° E, геомагнитными координатами 45.7° N, 117.8° E. Во время ионосферной бури его параметры составляли: рабочая частота  $f_0 = 158$  МГц, импульсная мощность 2.4 МВт, длительность зондирующего импульса (ЗИ)  $T_{SI} = 790$  мкс, внутриимпульсная модуляция не применялась. Ширина диаграммы направленности зенитной двухзеркальной антенны Кассегрена диаметром 100 м равна 1°, уровень боковых лепестков в области  $\pm 30^\circ$  не превышает -25 дБ. Во время измерений радар работал в режиме круговой поляризации. Радиоприемный тракт обеспечивал выделение синфазной (I) и квадратурной (Q) составляющих сигнала на выходах синхронных детекторов. Полоса пропускания приемного тракта  $2\Delta f = 19$  кГц. Применялись три системы обработки — двухканальные программируемые корреляторы. Период квантования сигнала по времени и задержки составлял 30 мкс.

Оценки действительной  $R_{Re}(t, \tau)$  и мнимой  $R_{Im}(t, \tau)$  составляющих комплексной корреляционной функции (КФ) НР-сигнала, позволяющих компенсировать рост дисперсии с увеличением  $\tau_k$ , нормированной КФ  $r(t, \tau)$  и спектральной функции следующие:

$$R_{IS}^*{}_{Re,Im}(t_j, \tau_k) = \frac{1}{P_N} \frac{1}{b-a} \int_a^b [R_{Re,Im}(x, \tau_k)]^* dx,$$

$$r^*(t_j, \tau_k) = R_{IS}^*(t_j, \tau_k) / q^*(t_j) K(t_j, \tau_k),$$