

УДК 524.522

СТРУКТУРА ГАЛАКТИЧЕСКОГО ГАЗА НА ВЫСОКИХ ШИРОТАХ. ЮЖНАЯ ПОЛЯРНАЯ “ШАПКА”

© 2004 г. И. В. Госачинский*, Г. Н. Ильин, В. А. Прозоров

Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН

Поступила в редакцию 30.07.2003 г.

Исследована угловая структура излучения межзвездного нейтрального водорода на волне 21 см на шести склонениях в северной (опубликовано ранее) и на семи склонениях в южной полярных шапках Галактики (галактические широты от -40° до -90°) протяженностью по прямому восхождению 90° . Радиотелескоп РАТАН-600 имеет ширину диаграммы направленности в среднем по этим областям $2'.0 \times 30'$. Одномерные спектры мощности углового распределения излучения межзвездного нейтрального водорода вычислялись в каждом спектральном канале шириной 6.3 км/с с помощью стандартной программы БПФ и сглаживались на протяжении 1^h по прямому восхождению. Оказалось, что зависимость от галактической широты средних характеристик распределения излучения линии H I по небу на высоких широтах соответствует распределению газа в виде плоского слоя только в северной области, в южной же шапке газ распределен гораздо менее регулярно. Кроме того, средние лучевые скорости H I везде отрицательные (-3.7 ± 3.0 км/с на севере и -6.0 ± 2.4 км/с на юге). Спектры мощности угловых флуктуаций в диапазоне угловых периодов от $10'$ до 6° выглядят степенными, однако, показатели спектра сильно меняются по небу: от -3 до -1.2 и в среднем при увеличении галактической широты и уменьшении содержания атомов H I на луче зрения спектр флуктуаций излучения межзвездного газа становится более плоским. В северной полярной области это выражено гораздо более четко, что, вероятно, связано с тем, что на юге содержание газа на луче зрения в целом в 2–3 раза больше, чем на севере, так что на юге в среднем и спектры более крутые, но зависимость от галактической широты более слабая. С помощью модельных расчетов показано, что наблюдаемый степенной спектр распределения излучения линии H I можно получить в рамках не только турбулентной, но и облачной модели межзвездного газа, если использовать полученные в наших предыдущих работах спектры диаметров и масс облаков H I.

Ключевые слова: межзвездная среда, нейтральный водород, облачная структура.

* Электронный адрес: gos@fsao.spb.su

ВВЕДЕНИЕ

Характеристики облачной структуры нейтрального водорода, полученные по данным наблюдений, играют большую роль для выяснения основных физических процессов, определяющих его существование: нагрев и охлаждение, столкновения облаков, образования молекулярных облаков, гравитационная неустойчивость и звездообразование и т.д.

Существует много способов изучения характеристик структуры межзвездной среды. Естественное представление об облаке, как объекте, отделяющемся от протяженного фона и соседних объектов по распределению яркости своего излучения, принимается во многих наблюдательных работах. Однако в ряде работ (Кровизье, Дикки, 1983; Грин, 1993; Дикки и др., 2001) применяется статистический метод: измерение пространственного (spatial) спектра распределения яркости излучения HI с помощью интерферометров или одиночных антенн. Основное достоинство спектрального подхода — его высокая чувствительность к угловым характеристикам излучения газа, однако лишь в том случае, если эти характеристики стационарны в областях значительных угловых размеров. Кроме того, следует заметить, что во-первых, измеряемые спектры не “пространственные”, а скорее угловые, во-вторых, все авторы измеряют так называемые “спектры мощности”, т.е. спектры квадратов амплитуд с потерей фазовой информации, и, наконец в-третьих, для измерений выбираются небольшие участки в плоскости Галактики, где распределение излучения межзвездного газа очень далеко от стационарного и сильно зависит от лучевой скорости.

Полученные в указанных выше работах угловые спектры близки к степенным, однако, как заметил Грин (1993), показатели спектров, измеренных на интерферометрах (двумерные спектры), отличаются на единицу от одномерных спектров, которые вычисляются с помощью преобразования Фурье кривых прохождения, полученных на одиночных антеннах. Двумерные спектры более крутые и имеют меньшую амплитуду.

Следует отметить также ряд работ (Лазарян, 1995; Лазарян, Погосян, 2000; Гольдман, 2000), в которых сделаны попытки математической интерпретации наблюдаемых угловых спектров с целью непосредственного вычисления трехмерной статистики флуктуаций межзвездного газа и связи ее с характеристиками турбулентности межзвездной среды, которая, как считается, эти наблюдаемые спектры и определяет.

С учетом всех этих обстоятельств в 1996 г. нами была начата программа измерения угловых спектров излучения HI на волне 21 см в области высоких галактических широт на радиотелескопе РАТАН-600. В работе Госачинского и др. (1999)

опубликованы результаты исследования северной полярной “шапки” Галактики, а в настоящей работе приведены результаты наблюдений области вокруг южного полюса Галактики и сделано сравнение этих данных. Отметим, что на высоких широтах наблюдается, в основном газ, расположенный вблизи Солнца (300–600 пк) на лучевых скоростях около нуля (± 20 км/с). В отличие от углового распределения его излучения вблизи плоскости Галактики, в этом случае следует ожидать гораздо большей статистической однородности его наблюдаемых угловых характеристик. Это обстоятельство позволяет надеяться на адекватность применения спектральных методов исследования структурных свойств распределения излучения межзвездного газа, усредненных на большом протяжении по небу.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА

Антенна радиотелескопа РАТАН-600 имеет на волне 21 см наклонениях от -40° до $+10^\circ$ полуширину диаграммы направленности в среднем по области $2'.0 \times 30'$ и эффективную площадь 900–1000 м². Автоматизированный радиоспектрометрический комплекс радиотелескопа имеет на входе на дециметровых волнах неохлаждаемый усилитель на транзисторах НЕМТ (Ильин и др., 1997). В этих наблюдениях использовался 39-канальный фильтровой спектроанализатор (Венгер и др., 1982) с шириной канала 30 кГц (6.3 км/с) и расстоянием между каналами — 30 кГц, так что полная полоса обзора составляла 1.2 МГц. Постоянная времени выходных устройств составляла 6 с, а период регистрации отсчетов 3 с. Управление комплексом, сбор информации и первичная обработка данных осуществлялись с помощью ЭВМ типа IBM PC через систему КАМАК (Алферова и др., 1986; Венгер и др., 1997). Параметры антенны и аппаратуры контролировались по результатам наблюдений серии ярких опорных источников с известными потоками (Венгер и др., 1981).

Наблюдения южной полярной области проводились в 1999–2003 гг. Получены сечения наклонениях -40° , -34° , -27° , -20° , -10° , 0° и $+10^\circ$ в диапазоне прямых восхождений от 22^h до 4^h (галактические широты от -40° до -90°). На каждом склонении было проведено по две группы наблюдений, содержащих по 10–14 записей, со сдвигом настройки спектроанализатора на половину расстояния между спектральными каналами, так что окончательно каждое сечение содержит 78 спектральных каналов, следующих через 3.15 км/с. Средний квадрат шумовых флуктуаций на усредненных записях составил 0.1 К. Все лучевые скорости в этой работе измерены относительно Местного стандарта покоя. В дополнение к этому было

получено еще одно сечение для северной полярной шапки на склонении -5° , результаты обработки которого будут приведены на графиках данной статьи.

Известно, что на высоких широтах, где общая интенсивность излучения HI на волне 21 см мала, профили радиолинии состоят из трех основных компонентов: узкой линии излучения около нулевых лучевых скоростей, возникающей в слое HI вблизи Солнца, излучения редких облаков HI на высоких отрицательных и положительных лучевых скоростях и паразитного излучения, возникающего из-за наличия далеких боковых лепестков и рассеянного фона антенной системы. Пример профиля, на котором отчетливо видны первый и третий компоненты, приведен в работе Госачинского и др. (1999). Проблема исключения паразитного рассеянного фона весьма серьезна и для этого разработаны специальные методы (см., например, Хейлес и др., 1981; Мак-Ги, Ньютон, 1986; Хартман и др., 1996). Однако, как показано в нашей предыдущей работе, в рамках поставленной задачи этим излучением можно пренебречь, поскольку диаграмма рассеянного фона антенны не может дать мелкомасштабных деталей распределения яркости. Заметим, что вообще говоря, результаты исследования крупномасштабного распределения HI на высоких широтах получены еще в пионерских работах (см., например, Фейес, Весселиус, 1973, и цитируемые там работы). Полученные нами после исключения паразитного рассеянного фона данные по полному содержанию газа на луче зрения, сглаженного диаграммой направленности нашего радиотелескопа, используются лишь для сравнения полного содержания HI с параметрами тонкой структуры, полученными на том же инструменте по одной координате.

Одномерный спектр угловых частот распределения интенсивности излучения межзвездного газа вычислялся в каждом спектральном канале с помощью стандартной программы БПФ по 64 точкам. Следовательно, при периоде дискретизации 3° первая гармоника спектра соответствовала периоду по прямому восхождению 192° , а последняя, 32-я гармоника — 6° . На $\delta = 0^\circ$ это соответствует угловым периодам $48'$ и $1'.5$. На других склонениях эти периоды увеличиваются обратно пропорционально $\cos \delta$. Как выяснилось, достигнутая в обзоре чувствительность аппаратуры позволяет выделить сигнал на пространственных гармониках с номерами не выше 8–10, поэтому в дальнейшем кривые прохождения были сглажены функцией $\sin x/x$ с периодом синуса 24° , так чтобы при соответствующем “прореживании” отсчетов можно было с помощью той же программы БПФ по 64 точкам вычислять спектры для периодов от 48° до 1536°

и при этом избежать так называемого эффекта “переналожения” частот.

Спектры квадратов амплитуд (т.е. спектры мощности пространственных частот) сглаживались на интервале 1^h (15°), а также по оси лучевых скоростей по пяти спектральным каналам (15.7 км/с), затем из максимального спектра вычитался спектр шумов системы, который получался как средний по тем каналам спектрометра, где не наблюдалось излучения линии. Поскольку шумы системы некоррелированы с флуктуациями распределения яркости излучения радиолинии HI, принятыми антенной радиотелескопа, их спектры складываются квадратично (по мощности). Именно так их нужно и разделять, так что в этом и заключается физический смысл спектра мощности угловых частот. Затем разностный спектр исправлялся за три эффекта, сглаживающих наблюдаемые флуктуации: сглаживание горизонтальной диаграммой антенны, фильтрация выходными НЧ-устройствами спектрометра и осреднение флуктуаций по вертикальной диаграмме антенны.

Таким образом, на каждом сечении протяженностью 6^h по прямому восхождению получалось 11 значимых спектров, вычисленных с шагом $0^h.5$. Известно, что амплитуда флуктуаций излучения межзвездного газа на очень низких угловых частотах довольно велика. Поскольку, с одной стороны, специфический интерес представляли угловые периоды не более нескольких градусов, а с другой стороны, при спектральном анализе всегда есть опасность просачивания паразитных сигналов через боковые лепестки аппаратной функции спектроанализатора БПФ; из кривых прохождения во всех каналах периоды более 6° , также как и постоянная составляющая, были удалены.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Общее содержание HI

Лучевые скорости максимумов излучения HI в исследуемой области вокруг южного полюса Галактики приведены в табл. 1. Поскольку такого рода данные для северной области в нашей предыдущей работе не были опубликованы, мы их приводим здесь в табл. 2 для удобства сравнения данных по обеим областям. Наши данные подтверждают давно известное обстоятельство, что средние лучевые скорости окосолнечного газа в основном отрицательные, как на юге (-6.0 ± 2.4 км/с), так и на севере (-3.7 ± 3 км/с). Явной систематической зависимости лучевой скорости HI от координаты (например, от галактической широты, рис. 1) не наблюдается ни на севере, ни на юге. Единственным разумным объяснением этого явления может

Таблица 1. Средние лучевые скорости излучения HI на низких лучевых скоростях в южной полярной шапке

δ	α										
	03 ^h 30 ^m	03 00	02 30	02 00	01 30	01 00	00 30	00 00	23 30	23 00	22 30
+10°0	-2.3	-5.3	-4.5	-8.5	-8.3	-6.8	-6.8	-6.8	-6.8	-4.5	-2.0
	+9.0	+10.5	+12.8	+13	+13	+13	+12.8	+12.8	+12.8	+12.0	+10.5
0.0	-3.0	-5.0	-7.0	-8.0	-8.0	-8.0	-6.0	-2.0	-1.5	-2.0	-0.5
	+8.0	+8.0	+7.5								
-10.0	-4.7	-4.7	-7.5	-10.3	-8.4	-8.4	-8.4	-5.6	-2.8	-0.9	-0.9
	+9.3	+8.4	+7.5	+9.3							
-20.0	-6.6	-10.3	-11.3	-9.4	-8.4	-10.3	-9.4	-4.7	-3.8	-3.8	-4.7
	+7.5	+1.5	0.0	0.0							
-27.0	-3.7	-8.4	-7.5	-8.4	-7.5	-5.6	-5.6	-3.7	-3.7	-5.6	-5.6
-34.0	-3.7	-4.7	-6.0	-6.5	-6.5	-6.9	-7.3	-5.6	-5.6	-5.6	-7.1
-40.0	-5.6	-6.2	-7.5	-8.4	-8.4	-8.4	-6.5	-6.5	-5.6	-5.6	-3.7
	-28										

Таблица 2. Средние лучевые скорости излучения HI на низких лучевых скоростях в северной полярной шапке

δ	α										
	15 ^h 30 ^m	15 00	14 30	14 00	13 30	13 00	12 30	12 00	11 30	11 00	10 30
+50°0	-5.0	-4.0	-3.0	-5.0	-7.0	-8.0	-7.0	-7.0	-9.0	-12.0	-14.0
+39.0	-1.5	-1.5	-2.0	0.0	0.0	-2.0	-2.5	-	-	-	-
+27.5	-3.0	-1.5	-1.5	-3.5	-5.0	-	-	-	-	-7.0	0.0
+16.0	-0.5	-0.5	0.0	+0.5	0.0	0.0	+0.5	0.0	-1.0	-5.0	-5.5
+5.0	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5	-3.0	-3.5	-5.0	-5.0	-6.0	-7.0	-5.04
-5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-8.3	-7.5	-6.0
					+3.0	+2.3	+3.0	+3.0	+7.5	+2.3	+3.3

служить медленное падение фонового газа в слое по направлению к его средней плоскости. Этим предположением объясняется и выбор формы абсциссы на рис. 1: если пространственная скорость в основном перпендикулярна плоскости Галактики, то лучевая скорость пропорциональна $V_g \sin(b)$.

Для некоторых участков исследуемых областей (в основном, на низких широтах) характерно раздвоение профилей. В этом случае мы привели в табл. 1 и 2 лучевые скорости обоих максимумов. Появление излучения HI на положительных скоростях может иметь очень простое объяснение. Дело в том, что на высоких широтах известна крупномасштабная структура HI на лучевых ско-

ростях около нуля, называемая обычно “гребнями” (ridges). В работе Фейеса и Весселиуса (1973) приведены параметры 13 таких образований, причем большинство из них (11) почти перпендикулярны плоскости Галактики и некоторые достигают широт $\pm 40^\circ$. Отметим также, что в отличие от фонового газа, многие из них имеют положительные лучевые скорости, а пять попадают в область нашего обзора как раз там, где наблюдаются максимумы на положительных скоростях. Поскольку любая крупномасштабная структура не является целью нашей работы, эти максимумы в дальнейшем не рассматривались. Полуширины максимумов профилей HI, исправленные за сглаживающее действие полосы анализатора, для северной и южной полярных ша-

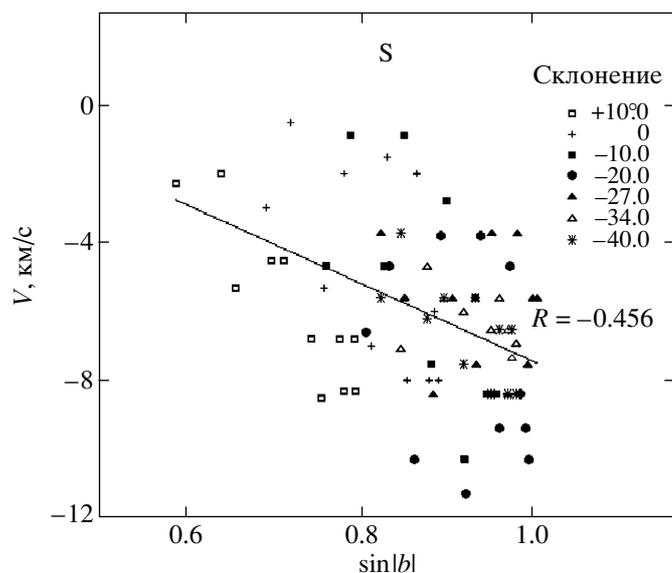


Рис. 1. Зависимость лучевой скорости HI от галактической широты в южной полярной шапке. На этом и на следующих рисунках прямая линия представляет линейную регрессию, а R — коэффициент корреляции между величинами на графиках.

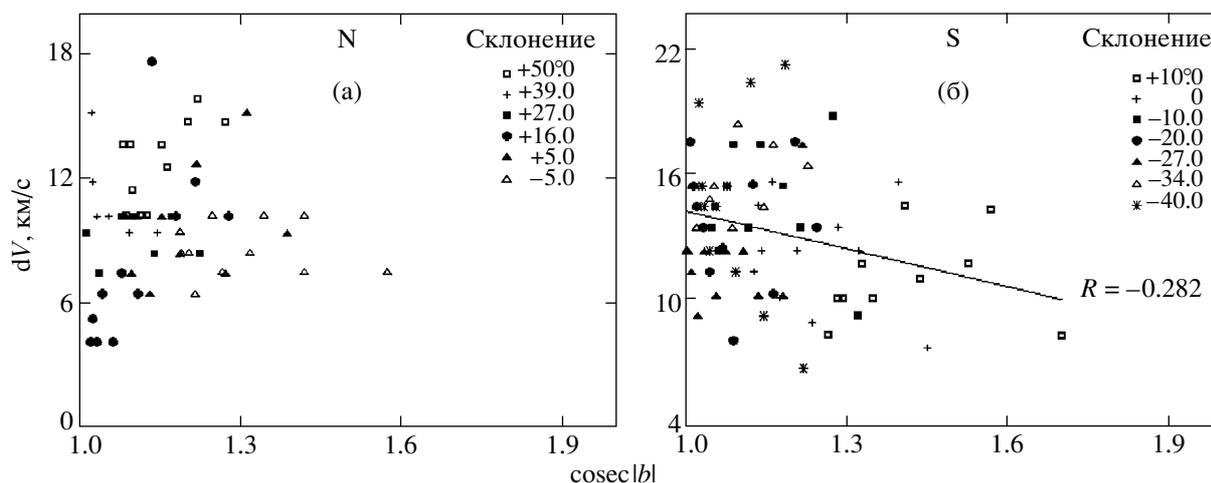


Рис. 2. Зависимость полуширин профилей HI на низких лучевых скоростях в северной (а) и в южной (б) полярных шапках.

пок приведены на рис. 2. Средние значения полуширин составляют 13.4 ± 3.2 км/с на юге и 9.8 ± 3.0 км/с на севере, никакой зависимости от координат не наблюдается. И, наконец, содержание HI на луче зрения в южной полярной области приведено в табл. 3, а зависимость его от величины $\text{cosec}|b|$ для севера и юга приведена на рис. 3. Поскольку абсциссы на рис. 2 и 3 пропорциональна протяженности луча зрения для наблюдателя, находящегося внутри плоского слоя, интересно отметить, что слой выглядит плоским лишь в северной части. На юге содержание газа во-первых, в 2–3 раза больше, чем на севере, и во-вторых, его распределение

гораздо менее регулярно. Отметим, что эти наши заключения соответствуют данным работы Фейеса и Весселиуса (1973), а также то, что обнаруженный этими авторами “наклонный диск” HI в область нашего обзора не попадает, так как располагается на более низких широтах.

Спектры угловых частот излучения радиолинии HI

Одномерные угловые спектры мощности флуктуаций распределения яркости излучения радиолинии HI на волне 21 см в области южной полярной

Таблица 3. Средние содержания HI на луче зрения в единицах 10^{20} см^{-2} в южной полярной шапке

δ	α										
	03 ^h 30 ^m	03 00	02 30	02 00	01 30	01 00	00 30	00 00	23 30	23 00	22 30
+10°0	2.60	3.50	5.00	4.40	3.80	3.40	3.80	3.90	3.00	2.90	3.6
	9.00	6.40	1.30	0.50	0.30	0.40	0.50	0.20	0.20	0.20	0.50
0.0	1.00	1.30	1.00	1.10	1.30	1.30	2.00	3.50	3.50	4.40	4.50
	5.60	2.70	1.30								
-10.0	0.75	1.50	1.60	1.90	1.80	2.20	2.40	2.30	1.90	2.50	3.20
	3.10	1.60	0.23	0.02							
-20.0	0.99	1.30	0.87	0.53	0.81	1.10	0.87	1.20	1.40	1.50	1.60
	1.30	0.70	0.80	0.45							
-27.0	0.56	0.59	0.58	0.52	0.39	0.58	0.94	0.71	0.77	0.79	0.68
-34.0	0.59	1.15	1.33	1.23	1.24	1.49	0.83	0.66	0.44	0.65	0.43
-40.0	0.17	0.59	0.78	1.20	1.50	2.50	1.70	1.40	1.60	1.90	1.30

Таблица 4. Показатели углового спектра излучения HI на низких отрицательных лучевых скоростях в южной полярной шапке

δ	α										
	03 ^h 30 ^m	03 00	02 30	02 00	01 30	01 00	00 30	00 00	23 30	23 00	22 30
+10°0	-3.3	-2.8	-3.0	-2.9	-2.7	-2.9	-2.9	-2.5	-2.5	-2.9	-3.0
	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.0	-2.8	-2.6	-2.3	-2.4	-2.3	-2.6	-2.5	-2.6	-2.6	-2.5	-2.7
	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
-10.0	-2.8	-3.0	-2.1	-2.4	-2.2	-2.3	-2.0	-2.0	-2.1	-2.6	-2.8
	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
-20.0	-3.0	-2.5	-1.7	-2.7	-2.2	-2.1	-1.9	-1.8	-2.3	-2.4	-2.6
	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3
-27.0	-1.9	-1.9	-2.2	-2.3	-2.5	-1.8	-2.7	-2.0	-2.1	-2.2	-2.2
	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3
-34.0	-2.7	-2.4	-2.5	-2.3	-1.2	-1.9	-1.5	-2.4	-3.0	-2.7	-2.3
	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.5	0.4
-40.0	-2.7	-2.4	-2.5	-2.3	-1.2	-1.9	-1.5	-2.4	-3.0	-2.7	-2.2
	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.5	0.4

“шапки” Галактики в общем также выглядят степенными, как и в северной области (Госачинский и др., 1999). Показатели спектра, представляющие собой наклон регрессионной прямой, вместе со среднеквадратичной ошибкой их вычисления приведены в табл. 4. Как и на севере, для угловых спек-

тров характерен большой разброс показателей: от -1.2 до -3 . Несмотря на то, что связь углового масштаба спектров с временем зависит от склонения, очевидно, что это лишь сдвигает угловые спектры в логарифмической шкале по оси абсцисс без изменения их наклона (показателя спектра).

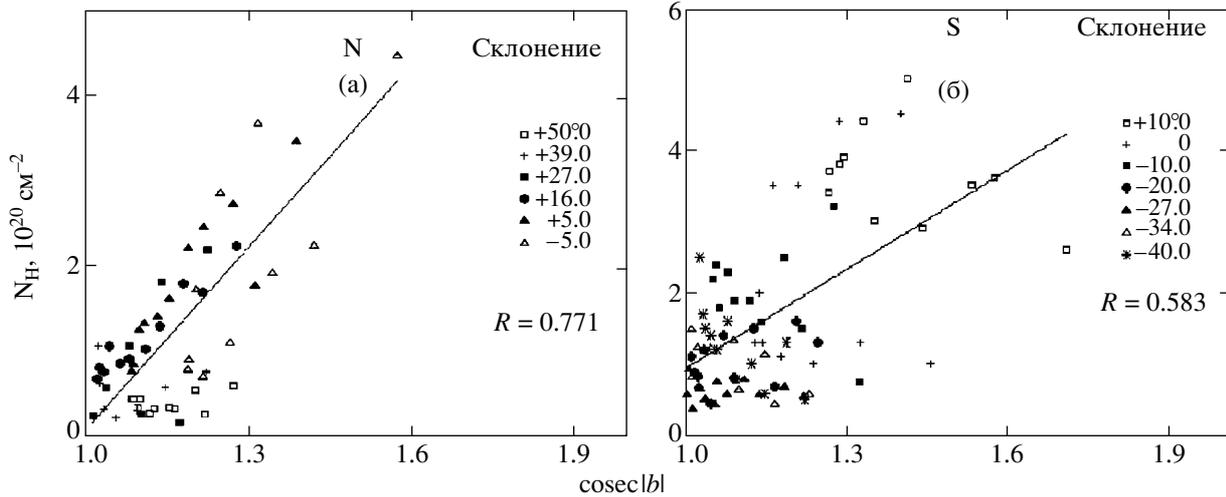


Рис. 3. Содержания атомов HI на луче зрения в северной (а) и южной (б) полярных шапках.

Сравнение показателей спектров северной и южной областей друг с другом и другими параметрами можно сделать с помощью рис. 4 и 5. Поскольку нам не известно, как может зависеть показатель спектра от широты, в качестве абсциссы на рис. 4 взята просто широта в градусах. Заметно, что как и по интегральному содержанию газа на луче зрения, приведенному на рис. 3, северная и южная полярные шапки различаются и по его структуре. В южной области показатель спектра гораздо лучше коррелирует с галактической широтой, чем в северной (рис. 4, коэффициент корреляции -0.7), хотя в общем с увеличением галактической широты спектры флуктуаций становятся более плоскими в обеих областях.

Удивительно, что обнаруженная в нашей предыдущей работе для северной области весьма четкая зависимость показателя спектра от полного содержания газа на луче зрения (рис. 5) гораздо хуже просматривается в южной полярной шапке. Однако, следует иметь в виду, что обнаруженное нами уплощение спектров флуктуаций может иметь разную природу: это может быть физический эффект, связанный с тем, что при большой общей плотности газа детали малого углового размера “не выживают” за счет столкновений или испарения в горячей межоблачной среде, в результате чего наблюдаемые угловые спектры становятся более крутыми, с другой стороны, может действовать и селекционный эффект — при большом количестве мелких деталей их трудно различить из-за недостатка чувствительности и углового разрешения, что невозможно компенсировать исправлением спектров за сглаживающие эффекты.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для объяснения физической природы облачной структуры межзвездной среды привлекают обычно два совершенно различных физических процесса. Один из них — межзвездная турбулентность — является по своей исходной сути статистическим, т.е. характерное поле скоростей межзвездного газа, приводящее к турбулентным флуктуациям его плотности — к тому, что наблюдатели обычно и называют облаками. Изложение такой физики можно найти во многих статьях, например, в капитальной работе Баллестероса-Паредеса и др. (1999), где имеется большое количество ссылок на другие исследования.

Такой подход, может быть и привлекательный математически, для наблюдателя часто неприемлем по одной простой причине: структура облаков, возникающая из-за турбулентности, должна быть в принципе иерархической, т.е. облака меньшего углового размера должны находиться внутри облаков большего размера. К сожалению, практически нет наблюдательных работ, где наличие такой структуры было бы недвусмысленно показано. Чаще всего облака межзвездного газа выглядят отдельными независимыми объектами. Кроме того, в нашем случае проблема усложняется тем, что наблюдаемую область нельзя считать “тонким” слоем, так что применить результаты расчетов теоретических моделей таких, как в работах Лазаряна (1995) или Гольдмана (2000), невозможно.

В качестве альтернативы принимают давно существующую двухступенчатую схему, в которой облака возникают из непрерывной среды в результате какой-нибудь из неустойчивостей, чаще всего тепловой, возникающей после некоторого начального сжатия среды в ударных волнах — спиральных рукавов или от остатков сверхновых. Далее

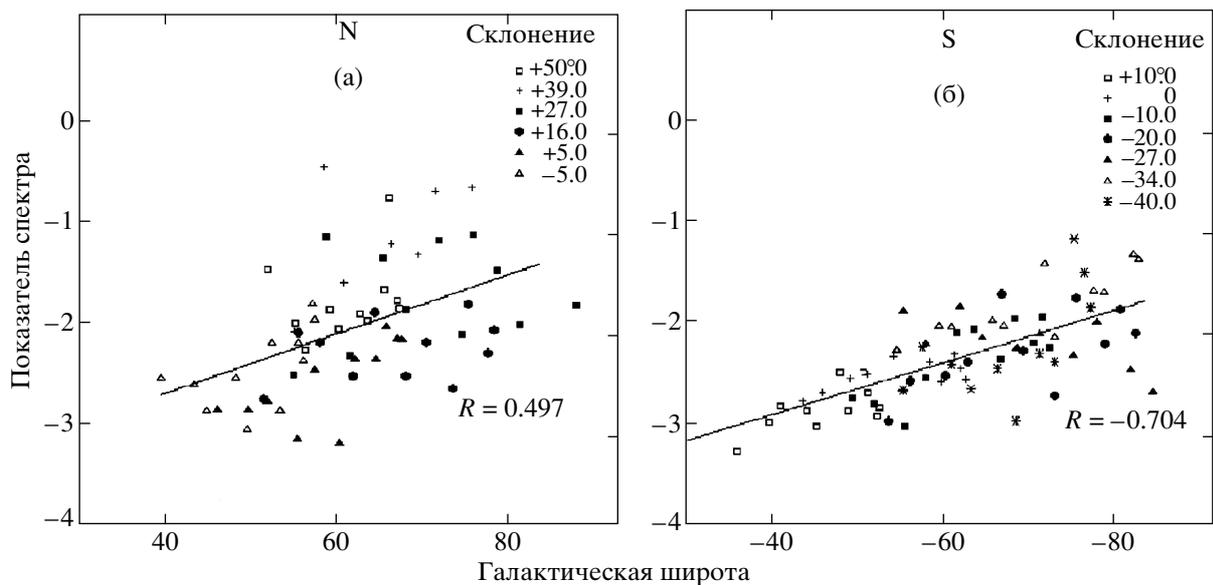


Рис. 4. Показатели одномерных угловых спектров флуктуаций излучения HI в северной (а) и южной (б) полярных шапках Галактики в зависимости от галактической широты

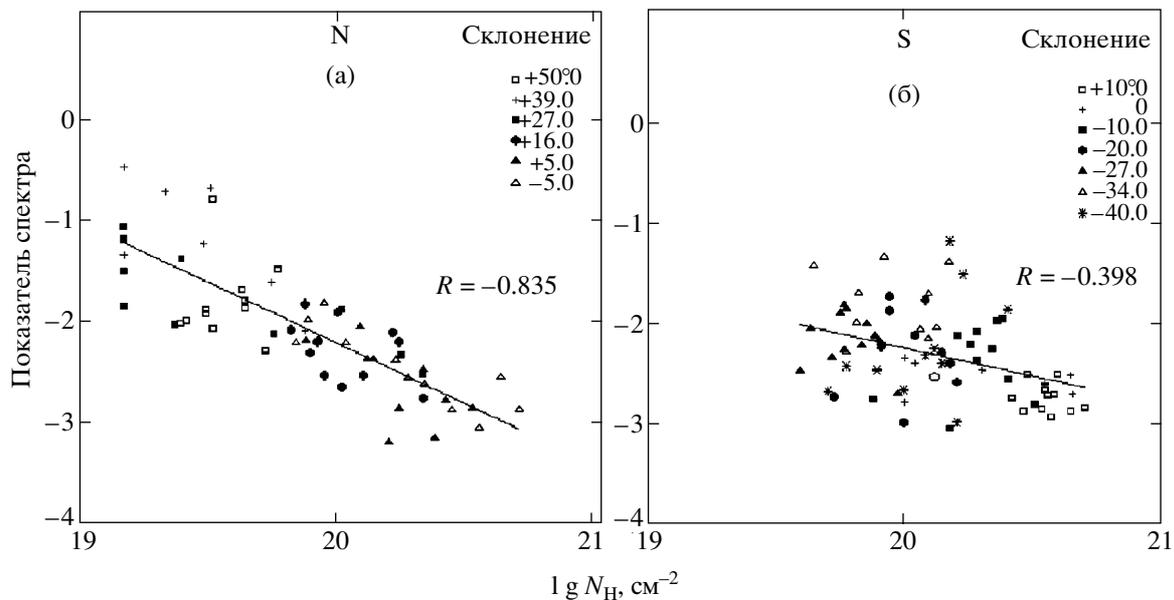


Рис. 5. Зависимости показателей угловых спектров от полного содержания HI на луче зрения.

облака существуют в равновесии с внешним давлением межоблачного газа, испытывая между собой неупругие столкновения, в результате которых они наращивают массу и плотность до тех пор, пока не начнется молекуляризация газа и не заработает джинсовская неустойчивость. Эта схема рассмотрена во многих работах, так что для справок лучше обратиться к монографии Каплана и Пикельнера (1979).

Как ни странно, для объяснения той или иной

формы наблюдаемых степенных спектров излучения межзвездного газа авторы теоретических работ автоматически принимают турбулентную физику. Для проверки возможных спектральных характеристик среды, состоящей из отдельных, случайно распределенных в пространстве объектов (облаков) с заданными характеристиками, нами была разработана соответствующая компьютерная программа, моделирующая кривые прохождения наблюдаемой среды, угловой спектр которой можно

получить с помощью тех же обработочных программ, которые мы применяли к реальным наблюдениям. Сразу выяснилось, что из-за большой протяженности слоя газа по лучу зрения расчетные угловые спектры оказываются близкими к степенным даже в том случае, если фиксировать диаметры, плотности и температуры наблюдаемых объектов. Если же для этих параметров применить статистические зависимости, полученные по данным наблюдений (см. например, (Госачинский, Морозова, 1996, 1999), то подбирая соответствующие параметры этих зависимостей, можно получить широкий набор показателей наблюдаемого углового спектра флуктуаций яркости. Выяснилось, что свободных параметров в системе уравнений довольно много, так что выбор наилучшей модели занимает много времени. Результаты этих расчетов будут приведены в следующей работе этого цикла.

Авторы благодарны сотрудникам САО РАН З.А. Алферовой и Т.М. Монастыревой за помощь в наблюдениях и обработке. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 01-02-17154).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферова З.А., Госачинский И.В., Желенков С.Р., Морозов А.С., Изв. САО РАН **23**, 89 (1986).
2. Баллестерос-Паредес и др. (J. Ballesteros-Paredes, E. Vasquez-Semadeni, and J. Scalo), *Astrophys. J.* **515**, 286 (1999).
3. Венгер А.П., Госачинский И.В., Грачев В.Г., Рыжков Н.Ф., Изв. САО РАН **14**, 118 (1981).
4. Венгер А.П., Грачев В.Г., Егорова Т.М. и др., Собр. САО РАН №35, 5 (1982).
5. Венгер А.П., Госачинский И.В., Есепкина Н.А. и др., *Проблемы современной радиоастрономии, XXVII радиоастрономическая конференция, Тезисы докладов* (СПб: ИПА РАН, 1997), с. 130.
6. Гольдман (I. Goldman), *Astrophys. J.* **541**, 701 (2000).
7. Госачинский И.В., Морозова В.В., *Astron. Astrophys. Trans.* **11**, 215 (1996).
8. Госачинский И.В., Морозова В.В., *Астрон. журн.* **76**, 883 (1999).
9. Госачинский И.В., Ильин Г.Н., Морозов А.С., Прозоров В.А., Письма в *Астрон. журн.* **25**, 820 (1999).
10. Грин (D.A. Green), *MNRAS* **262**, 327 (1993).
11. Дикки и др. (J.M. Dickey, N.M. McClure-Griffiths, S. Stanimirovic, et al.), *Astrophys. J.* **561**, 264 (2001).
12. Ильин Г.Н., Прозоров В.А., Пилипенко А.М., *Проблемы современной радиоастрономии, XXVII радиоастрономическая конференция, Тезисы докладов* (СПб: ИПА РАН, 1997), с. 128.
13. Каплан С.А., Пикельнер С.Б., *Физика межзвездной среды* (М.: Наука, 1979).
14. Кровизье, Дикки (J. Crovisier and J.M. Dickey), *Astron. Astrophys.* **122**, 282 (1983).
15. Лазарян (A. Lazarian), *Astron. Astrophys.* **293**, 507 (1995).
16. Лазарян, Погосян (A. Lazarian and D. Pogosyan), *Astrophys. J.* **537**, 720 (2000).
17. Мак-Ги, Ньютон (R.X. McGee and L.M. Newton), *Publ. Astron. Soc. Australia* **6**, 358 (1986).
18. Фейес, Весселиус (I. Fejes and P.R. Wesselius), *Astron. Astrophys.* **24**, 1 (1973).
19. Хартман и др. (D. Hartmann, P.M.W. Kalberla, W.B. Burton, and U. Mebold), *Astron. Astrophys. Suppl.* **119**, 115 (1996).
20. Хейлес и др. (C. Heiles, S. Kulkarni, and A.A. Stark), *Astrophys. J. Lett.* **247**, L73 (1981).