

УДК 524.527-77

## ЭВОЛЮЦИЯ МАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОН В ОБЛАСТИ АКТИВНОГО ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ W75N. I. ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛИНИИ 1665 МГц

© 2021 г. П. Колом<sup>1</sup>, Н. Т. Ашимбаева<sup>2</sup>, Е. Е. Лехт<sup>2,\*</sup>, М. И. Пашенко<sup>2</sup>,  
Г. М. Рудницкий<sup>2</sup>, А. М. Толмачев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Медонская обсерватория, Медон, Франция

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

<sup>3</sup> Пушчинская радиоастрономическая обсерватория,  
Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Пушкино, Россия

\*E-mail: lekht@sai.msu.ru

Поступила в редакцию 06.07.2020 г.

После доработки 30.08.2020 г.

Принята к публикации 30.08.2020 г.

Представлены результаты мониторинга мазерного источника ОН в W75 N в главной линии 1665 МГц, выполненного в 2007–2020 гг. на радиотелескопе в Нансэ (Франция). Период 2007–2009 гг. характерен высокой активностью мазера в целом. В процессе выполнения мониторинга обнаружены временные вариации параметров Стокса для всех спектральных деталей в диапазоне лучевых скоростей от  $-1$  до  $14$  км/с. Обнаружено, что позиционный угол  $\chi$  и степень линейной поляризации  $m_L$ , а также степень круговой поляризации  $m_C$  большинства деталей меняются со временем не хаотично, а по определенным закономерностям, либо меняются очень слабо и имеется корреляция с переменностью плотности потока. При этом лучевые скорости деталей меняются очень слабо. Показано, что основная деталь  $12$  км/с на протяжении  $50$  лет с момента открытия мазера ОН в W75 N имела два максимума активности с интервалом между ними около  $30$  лет. Проведено отождествление спектральных деталей в линии  $1665$  МГц с мазерными пятнами на VLBA картах. Показано, что сильная вспышка основных деталей в  $2007$ – $2009$  гг. произошла в источнике VLA 2. В период этой вспышки наблюдались небольшие изменения угла  $\chi$  и существенные изменения степени как линейной, так и круговой поляризации деталей  $1.75$ ,  $2.1$  и  $3.05$  км/с. У детали  $0.65$  км/с наблюдались существенные изменения всех параметров излучения. В спутниковой линии  $1612$  МГц излучение широкополосное. Уширение линии до  $1.9$  км/с свидетельствует о том, что в среде, кроме теплового, имеется также турбулентное движение вещества.

DOI: 10.31857/S0004629921010011

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Источник W75 N (G81.871+0.781) расположен в сложном гигантском молекулярном комплексе Cygnus X, где идет процесс активного образования массивных звезд. Расстояние до источника, основанное на оценках расстояния до ассоциаций Суг OB, оценивается в  $2$  кпк [1]. Наблюдения методом тригонометрического параллакса мазерных пятен метанола для шести эпох в  $2009$ – $2010$  гг. дают меньшее расстояние, равное  $1.3$  кпк [2]. W75 N включает в себя ряд плотных газо-пылевых облаков, компактные области НП (VLA 1, VLA 2 и VLA 3 [3]) вокруг массивных молодых звезд и мазерные источники гидроксила (ОН), воды ( $H_2O$ ) и метанола ( $CH_3OH$ ). Имеется сильное ИК-излучение [4]. Считается, что три источ-

ника континуума VLA находятся на разных стадиях эволюции.

Источник VLA 1 отождествляется с радиоджетом. Он сильно вытянут в направлении с северо-востока на юго-запад на  $2000$  а.е. Вдоль него располагаются мазерные детали  $H_2O$ , которые группируются в три скопления. Источник радиоконтинуума VLA 2 пространственно не разрешен ( $\leq 0.08''$ ). Он ассоциируется с протопланетным диском. Масса центральной звезды составляет  $\approx 10 M_\odot$ , а радиус системы около  $160$  а.е. Имеется расширяющаяся околозвездная оболочка со сложной иерархической структурой, в которой расположены отдельные мазерные детали  $H_2O$ , их скопления и другие сложные образования (не-

однородные волокна, многозвенные цепочки, фрагменты оболочки) (см., напр., [5, 6]).

Мазерное излучение ОН в источнике W75 N впервые наблюдали Цуккерман и др. [7]. Мазеры ОН в этой области сосредоточены в двух центрах активности, связанных с источниками радиоконтинуума — компактными областями III VLA 1 и VLA 2. Излучение ОН в W75 N оказалось сильно переменным [8–10].

Наблюдения в линиях ОН могут дать информацию о величине и направлении магнитного поля в областях звездообразования. В магнитном поле линии расщепляются за счет эффекта Зеемана, что вызывает как круговую, так и линейную поляризацию мазерного излучения. Выявление зеемановской структуры в профилях поляризованного мазерного излучения позволяет сделать оценки напряженности магнитного поля в источниках (в мазерных пятнах). Измеренные величины поля достигают нескольких десятков миллигаусс, что на 2–3 порядка величины выше, чем среднее поле в межзвездной среде.

Магнитное поле играет важную роль в процессе образования звезд не только на ранней стадии их формирования, но и на всех стадиях его эволюции. На ранней стадии магнитное поле усиливает эффективность процесса слияния гигантских молекулярных облаков. Замагниченные молекулярные облака могут двигаться только вдоль силовых линий, и их движение является одномерным, при этом вероятность столкновения и слияния облаков увеличивается по сравнению с трехмерным движением в отсутствие магнитного поля. На стадии фрагментации гигантских молекулярных облаков магнитное поле, наряду с вращением, существенно модифицирует процесс коллапса и аккреции вещества на центральную протозвезду.

В частности, определение величины и направления движения магнитного поля поможет нам лучше понять его роль в формировании околозвездных дисков ударными или магнитогидродинамическими волнами (МГД-волнами) на границе раздела компактной III области и окружающего ее молекулярного облака.

Многочисленные интерферометрические исследования мазеров ОН в W75 N были выполнены в ряде работ [11–15]. Например, на карте мазера ОН W75 N [13], полученной на системе VLBA 1 июля 1998 г., мазерные конденсации образуют вытянутую дугу, охватывающую источник радиоконтинуума VLA 1. Такая структура укладывается в модель околозвездного диска и повторяется на всех картах, от эпохи к эпохе. Впервые такую модель предложили Хашик и др. [16]. Однако сравнение карт разных эпох показало, что имеется сильная переменность излучения некоторых деталей, и они вообще могут не наблюдаться в неко-

торые эпохи. Кроме того, Фиш и др. [15] указывают на существование собственного движения некоторых мазерных пятен со средней скоростью 3.5 км/с.

На основе данных интерферометрии мазеров ОН были рассмотрены модели магнитного поля в W75 N. Грей и др. [17] предполагают наличие восточного центрального объекта области VLA 1 вращающегося молекулярного диска, в котором сосредоточены мазерные конденсации. Величины и направления магнитного поля в этой модели соответствуют закрученным линиям поля во вращающемся диске. Согласно модели Фиша и др. [18] имеются два преимущественных направления векторов поля вблизи VLA 1: север–юг и восток–запад.

В настоящей работе мы представляем результаты многолетнего мониторинга источника мазерного излучения ОН W75 N в главной линии 1665 МГц с целью исследования эволюции параметров Стокса большинства спектральных деталей. Некоторые результаты исследования круговой поляризации были изложены ранее в работе [19]. В настоящей работе также приводятся некоторые данные по наблюдениям в линиях 1667, 1612 и 1720 МГц. Подробный анализ этих данных будет представлен в наших последующих публикациях.

## 2. АППАРАТУРА И НАБЛЮДЕНИЯ

Мониторинг мазерного источника W75 N в области активного звездообразования в линиях гидроксила на длине волны 18 см проводился нами в 2007–2020 гг. на радиотелескопе в Нансэ (Франция). Чувствительность телескопа составляет 1.4 Ян/К для точечного источника с неполяризованным излучением. Шумовая температура системы составляла от 35 до 60 К в зависимости от условий наблюдения. На склонении  $\delta = 35^\circ$  диаграмма направленности телескопа на данной волне равна  $3.5' \times 20.4'$  по прямому восхождению и склонению соответственно.

Спектральный анализ проводится автокорреляционным спектроанализатором из 8192 каналов. Спектроанализатор был разделен на восемь батарей по 1024 канала. Во всех наблюдениях проводилась регистрация излучения (плотности потока) в двух круговых поляризациях (*RC* и *LC*) и при четырех ориентациях линейной поляризации (*L0/L90* и *L45/L135*) с поворотом облучателя на  $45^\circ$ , что в итоге давало шесть мод поляризации. Это позволило определить все параметры Стокса (*I*, *Q*, *U* и *V*).

$$I = F(0^\circ) + F(90^\circ) = F(RC) + F(LC), \quad (1)$$

$$Q = F(0^\circ) - F(90^\circ), \quad (2)$$

$$U = F(45^\circ) - F(135^\circ), \quad (3)$$

$$V = F(RC) - F(LC). \quad (4)$$

В наших наблюдениях 2007–2009 гг. частотное разрешение составляло 763 Гц. Это соответствует разрешению по лучевой скорости 0.137 км/с. В наблюдениях 2010–2020 гг. разрешение было вдвое выше, 0.068 км/с. Подробное описание методики наблюдений на радиотелескопе в Нансэ изложено, например, в работах Слыш и др. [20] и Ашимбаева и др. [21].

Основное внимание в настоящей работе уделено исследованию наблюдений в линии ОН 1665 МГц, поскольку в этой линии имеется наибольшее число эмиссионных деталей. Подробный анализ наблюдений в линиях 1667 и 1720 МГц и возможной корреляции переменности излучения во всех линиях (плотности потока, степени поляризации и позиционного угла) будут представлены в нашей последующей публикации.

На рис. 1–5 представлены результаты наблюдений в линии 1665 МГц в избранные эпохи в линейной поляризации (спектры) и параметры Стокса  $I$ ,  $Q$  и  $U$ . Спектры приведены для четырех ориентаций линейной поляризации. Все спектры нанесены линиями одной толщины, поскольку основная цель рисунков – показать, как сильно меняется сигнал от позиционного угла для каждой спектральной детали. Эпохи наблюдений для рисунков выбраны такими, чтобы показать наиболее характерные изменения структуры спектров. Кроме того, результаты эпохи 21.05.2010 показаны потому, что были проведены наблюдения в сателлитной линии 1612 МГц. Излучение в этой линии оказалось неполяризованным, широкополосным. Есть все основания считать его тепловым, поэтому в дальнейшем наблюдения проводились в главных линиях 1665 и 1667 МГц и в сателлитной линии 1720 МГц.

### 3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

В спектрах ОН 1665 МГц в линейной поляризации насчитывается более 30 деталей. Наиболее интенсивные детали/(группы деталей) имеют лучевые скорости 0.65, 2–2.3, 4.1, 5–6, 9.14 и 12.05 км/с. Детали на 4.1 и 9.14 км/с являются одиночными и достаточно узкими, а детали 0.65 и 12.05 км/с являются двойными. В частности, последняя из них блендирована более слабой деталью со скоростью 12.3 км/с. Остальные имеют более сложную структуру.

Самым сложным является спектральный участок 5–6 км/с. Согласно Слышу и др. [13] при наблюдениях в 1998 г. в этой группе насчитывалось четыре компонента. Структура линии излучения этой группы сильно меняется при переходе от одного позиционного угла к другому. Наш мониторинг показал, что также имеются изменения от эпохи к эпохе. Наблюдаемый характер измене-

ний структуры линии этой группы хорошо объясняется при наличии пяти компонентов. Это показано на рис. 6. Тонкими линиями вписаны гауссианы.

Чтобы показать наиболее характерные изменения мазерного излучения ОН в линии 1665 МГц, которые происходили при мониторинге W75 N, мы на рис. 7 представили излучение трех основных групп деталей в четырех направлениях линейной поляризации для разных эпох. Для каждой спектральной детали указаны позиционный угол и степень линейной поляризации (за исключением деталей в центральном столбце, поскольку имеет место наложение излучения одних деталей на другие).

В случаях неодинокных деталей изменения профиля линии могут происходить, если компоненты имеют разные позиционные углы линейной поляризации, или разные степени поляризации. Это хорошо видно на примере двух деталей в интервале лучевых скоростей 12.0–12.5 км/с.

## 4. ДИСКУССИЯ

Спектр ОН на частоте 1665 МГц содержит большее число деталей и занимает больший диапазон скоростей, чем спектры в линии 1667 МГц. Это также отметили ранее Слыш и др. [13] по наблюдениям в июле 1998 г. Кроме того, они не обнаружили излучение в сателлитной линии 1720 МГц. Наши наблюдения показали, что именно в этой линии происходили самые сильные вспышки мазера ОН.

Основное внимание было уделено исследованию мазерного излучения в главной линии 1665 МГц. Наш мониторинг (2007–2020 гг.) показывает, что в некоторых участках спектра происходили сильные изменения излучения как отдельных деталей, так и групп из тесных компонентов. На такие сильные изменения спектров, когда одни компоненты исчезали, а другие появлялись, так же указано в работе Слыша и др. [13].

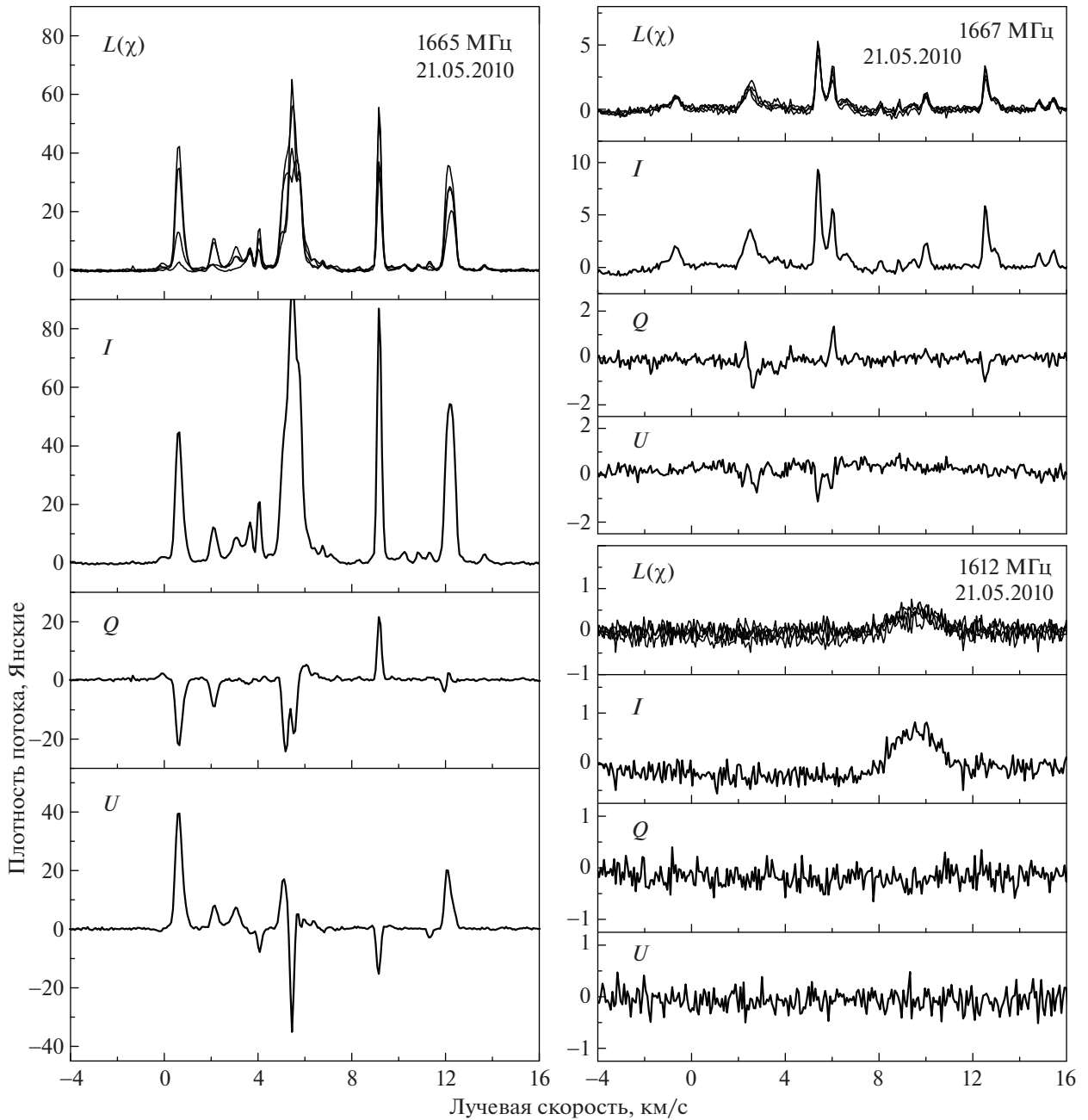
### 4.1. Поляризационные исследования излучения в линии 1665 МГц

Для большинства спектральных деталей, как сильных, так и слабых, мы провели вычисление параметров линейной поляризации (степени поляризации  $m_L$  и позиционного угла  $\chi$ ) для разных эпох. Вычисления проводились по формулам:

$$m_L = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I}, \quad (5)$$

$$\chi = 0.5 \arctg(U/Q), \quad (6)$$

где  $I$ ,  $U$  и  $Q$  – параметры Стокса (см. раздел 3).



**Рис. 1.** Спектры мазерного излучения ОН и параметры Стокса  $I$ ,  $Q$  и  $U$  в линиях 1665, 1667 и 1612 МГц в линейной поляризации в W75 N в эпоху 21.05.2010. Спектры  $L(\chi)$  нанесены для четырех положений плоскости поляризации антенны:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$ .

Степень круговой поляризации вычислялась по формуле:

$$m_C = V/I. \quad (7)$$

На рис. 8 показано наложение на одном графике степени поляризации (верхняя панель) и позиционного угла (нижняя панель) для разных эпох наблюдений с 2010 по 2020 г. На нижней панели справа для наглядности показаны направле-

ния плоскости линейной поляризации. Средние значения  $m_L$  и  $\chi$  нанесены светлыми кружками, которые соединены отрезками прямых линий.

Имеются скопления точек на верхнем и нижнем рисунках. Это означает, что на данных значениях лучевых скоростей параметры  $m_L$  и  $\chi$  не меняются, либо слабо меняются со временем. Наиболее стабильным является позиционный угол. Это свидетельствует о том, что сохраняется на-

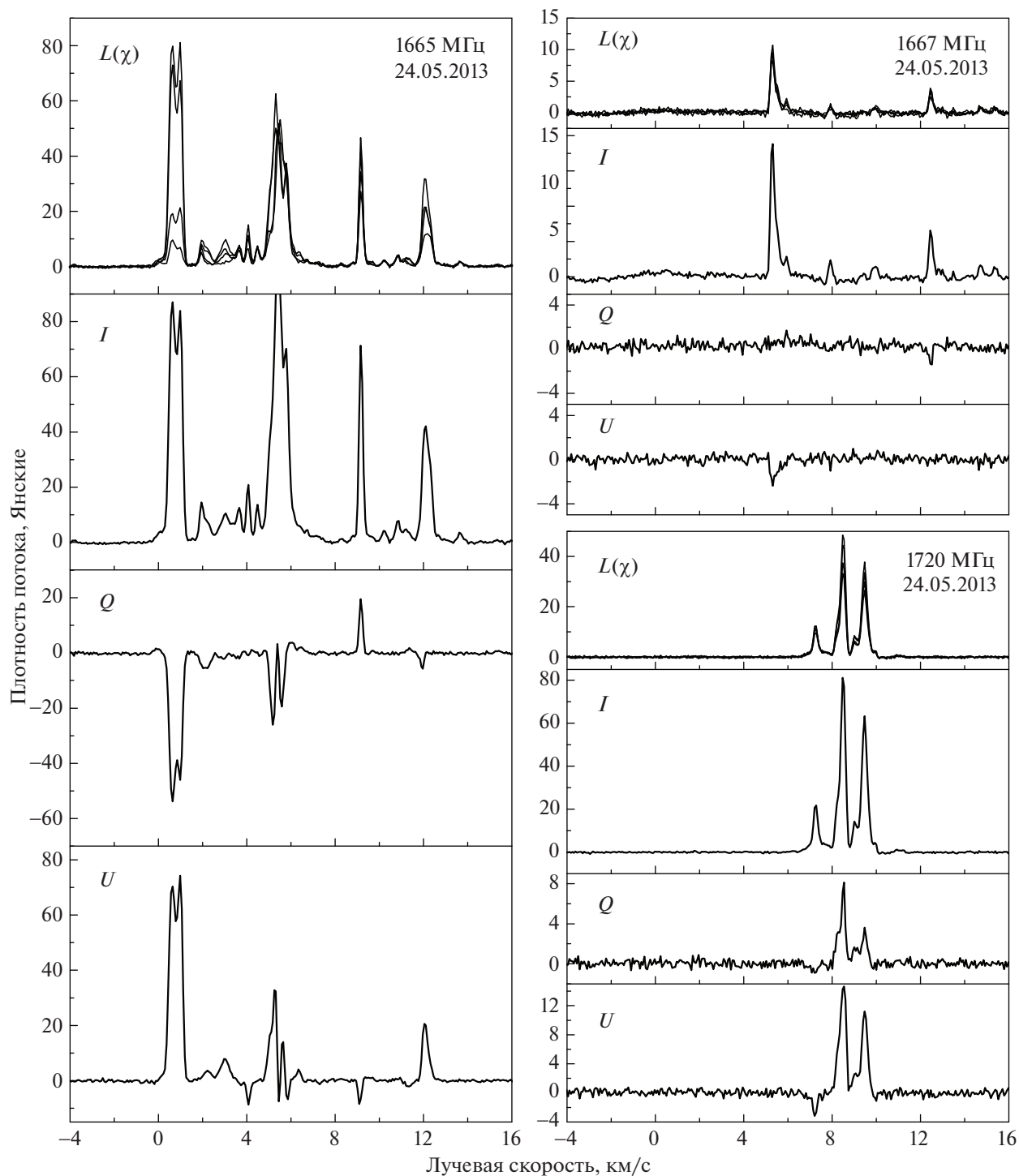


Рис. 2. То же, что на рис. 1, в линиях 1665, 1667 и 1720 МГц для эпохи 24.05.2013.

правление плоскости поляризации, но может меняться степень поляризации. Кроме того, имеются детали в спектре линии 1665 МГц, для которых мало меняется один из параметров, но более существенно меняется другой параметр. И, наконец, имеются детали, для которых наблюдается большой разброс точек обоих параметров.

Подробный анализ вариации параметров  $m_L$  и  $\chi$  проведен для одиночных деталей  $-0.24$ ,  $4.05$  и  $9.14$  км/с, двойных  $0.65$  и  $12.05$  км/с, а также деталей в скоплениях в спектре в интервалах лучевых скоростей  $1.9-2.2$  и  $2.8-3.2$  км/с. Скопления, как правило, состоят из трех деталей и одна из них становится преобладающей в какую-либо эпоху.

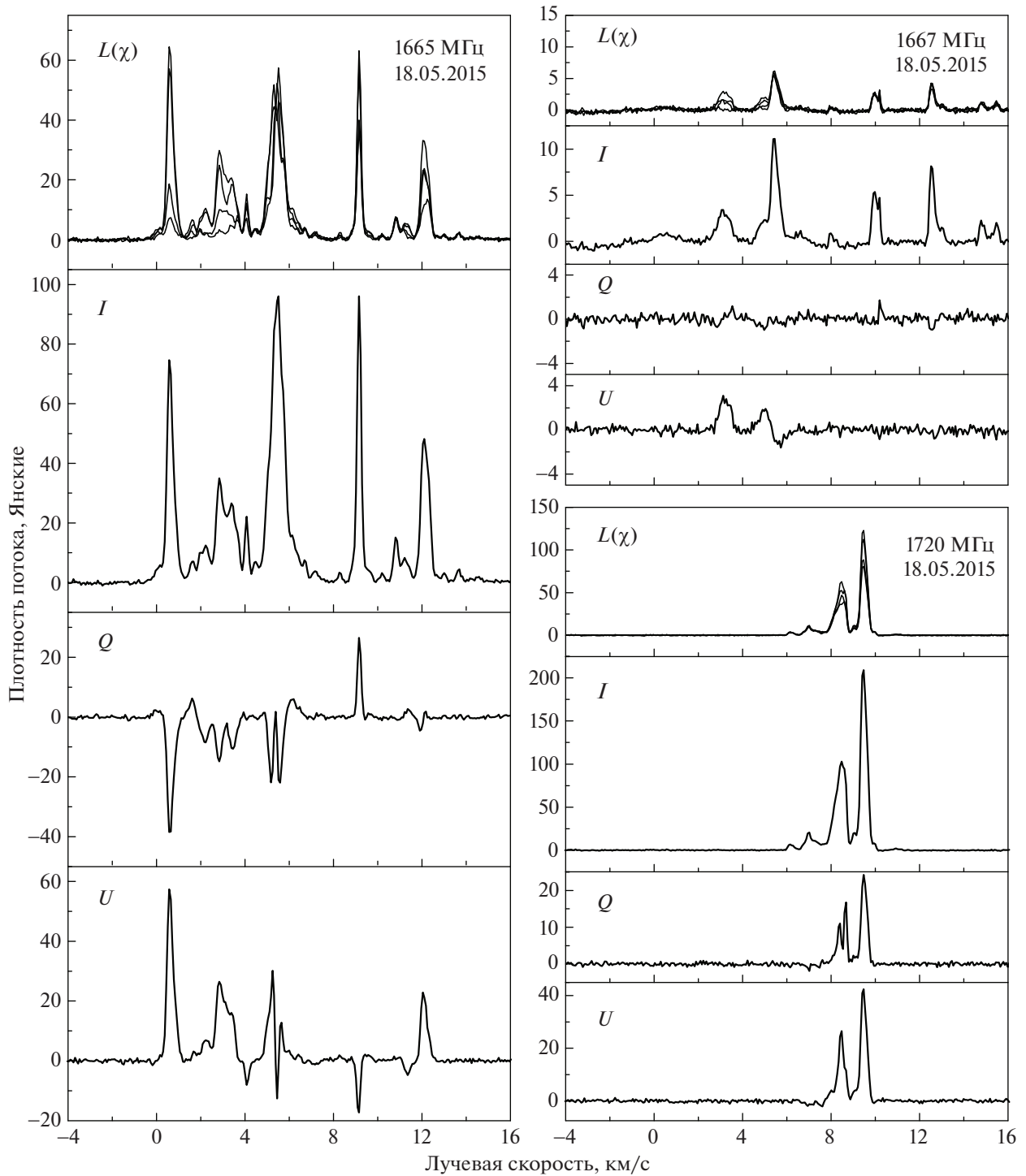


Рис. 3. То же, что на рис. 1, для эпохи 18.05.2015.

Деталь 0.65 км/с была, в основном, одиночной. Вклад соседней детали был существенным лишь в течение короткого промежутка времени (2013 г.), а в остальное время ее излучение давало лишь небольшой вклад в правое крыло детали 0.65 км/с.

Для всех перечисленных выше спектральных деталей мы также провели анализ переменности

степени круговой поляризации  $m_c$  (см. (7)). Результаты проведенного анализа представлены на рис. 9. Для каждой кривой указаны лучевая скорость и вид поляризации. Кривые с индексами  $m_l$  и  $m_c$  отражают принадлежность к линейной и круговой поляризациям соответственно. Для луч-

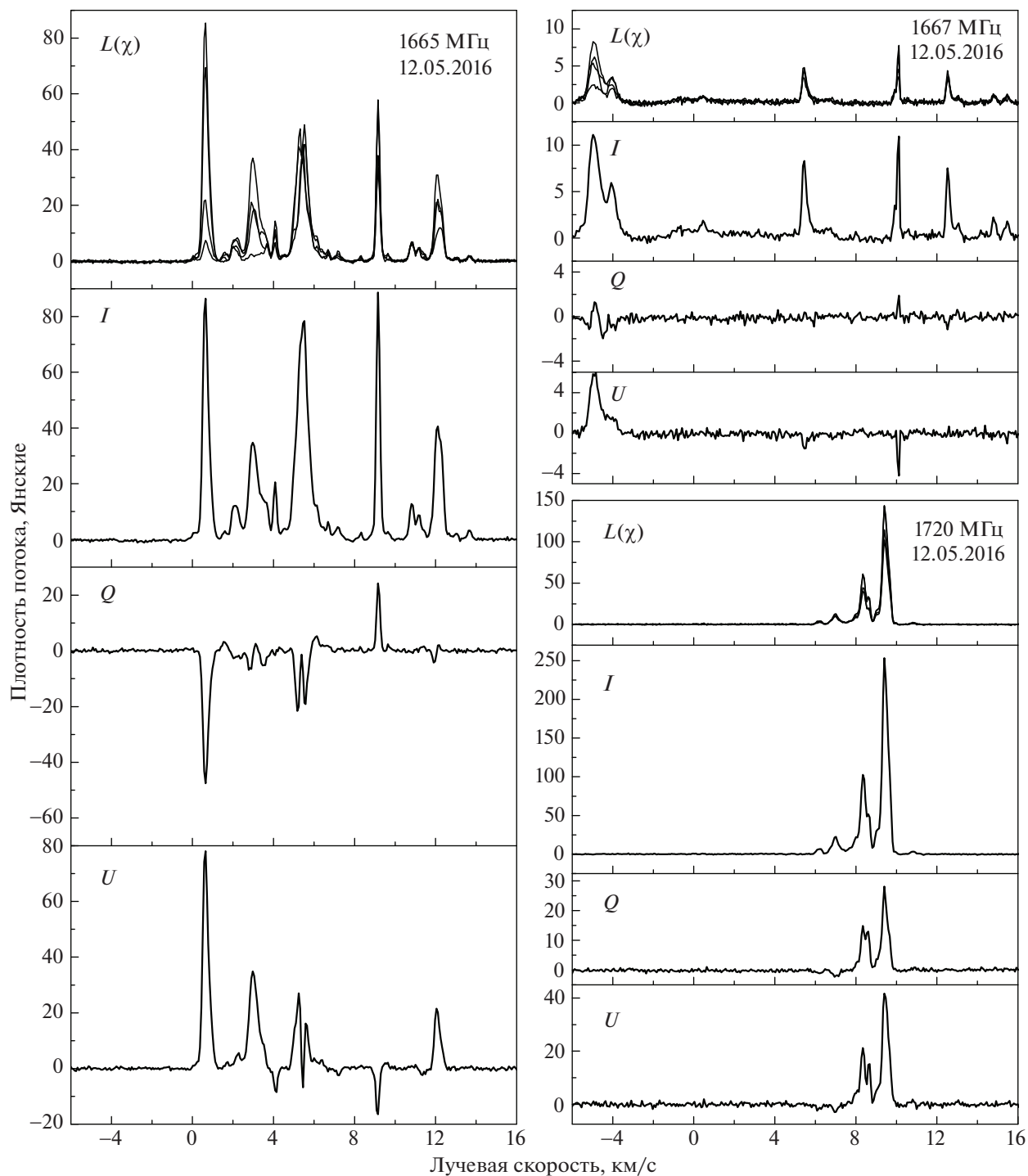


Рис. 4. То же, что на рис. 1, для эпохи 12.05.2016.

шего восприятия графиков для линейной поляризации введены светлые символы, а для круговой поляризации затемненные.

Прежде всего следует обратить внимание на то, что нет хаотических изменений параметров поляризации для всех восьми выбранных спектральных деталей. Отдельные сильные выбросы в

кривых на рис. 9 являются реальными. Они являются следствием кратковременных всплесков излучения отдельных спектральных деталей. Сказать что-либо о природе таких всплесков мы пока не можем.

Подробный анализ переменности поляризационных характеристик и каждой детали и воз-

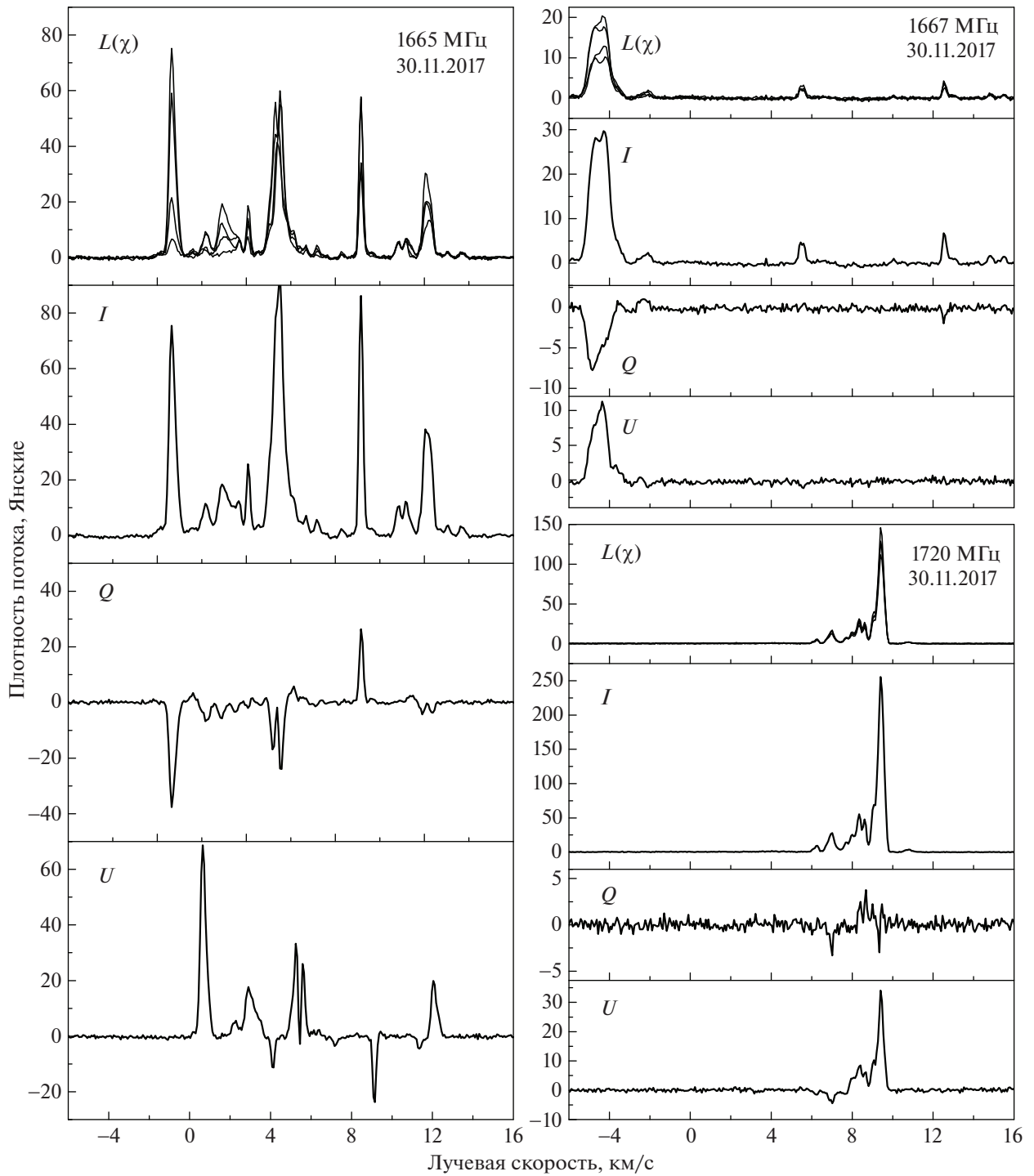


Рис. 5. То же, что на рис. 1, для эпохи 30.11.2017.

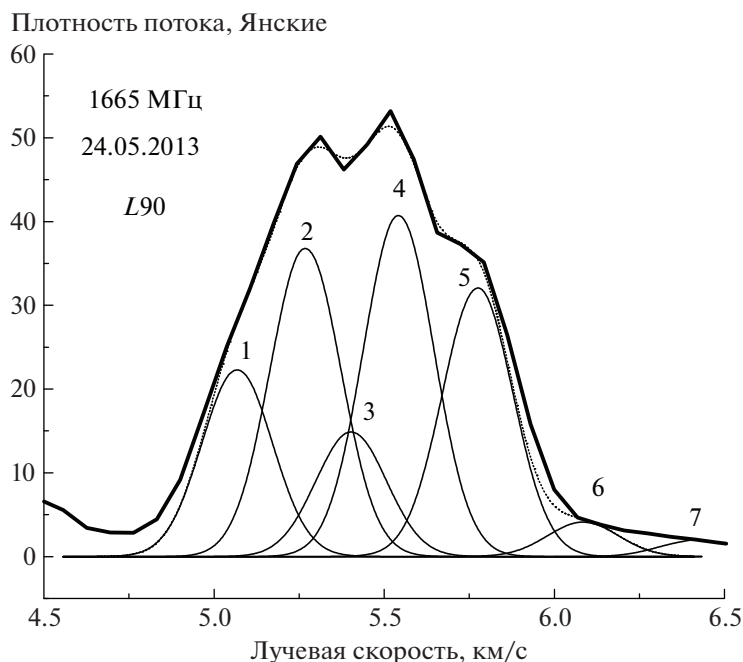
можную связь с переменностью плотности потока мы изложим в следующем разделе.

#### 4.2. Переменность излучения отдельных спектральных деталей

Впервые изучение переменности мазерного излучения ОН провели Салливан и др. [22]. Они

сравнили потоки основных деталей в эпохи наблюдений 1968.5, 1970.7, 1971.1 и 1972.0. Дэвис и др. [23] вычислили относительную переменность всех деталей в сравнении с главной (11.9 км/с) с 1968.5 по 1974.5. Затем появились результаты наблюдений Хашика и др. [16] (май 1976 г.), Баарта и др. [11] (март 1983 г.), Аргон и др. [12] (март 1998 г.), Слыша и др. [13] (июль 1998 г.) и Фиша и др. [14,





**Рис. 6.** Разделение линейно поляризованного излучения 1665 МГц в интервале 5–6 км/с на отдельные компоненты. Данный фрагмент взят из спектра эпохи 24.05.2013 в направлении позиционного угла  $90^\circ$ .

15] (декабрь 2000 г. и 2008 г.). Это были наблюдения с высоким угловым разрешением, где были получены карты расположения мазерных пятен, а также были измерены параметры поляризации излучения (параметры Стокса). Наши наблюдения в Нансэ выполняются в рамках многолетнего мониторинга. Были измерены все параметры Стокса и их временные вариации в течение 2007–2020 гг. для спектральных деталей с потоками выше 2 Ян в диапазоне лучевых скоростей от  $-0.6$  до 15 км/с.

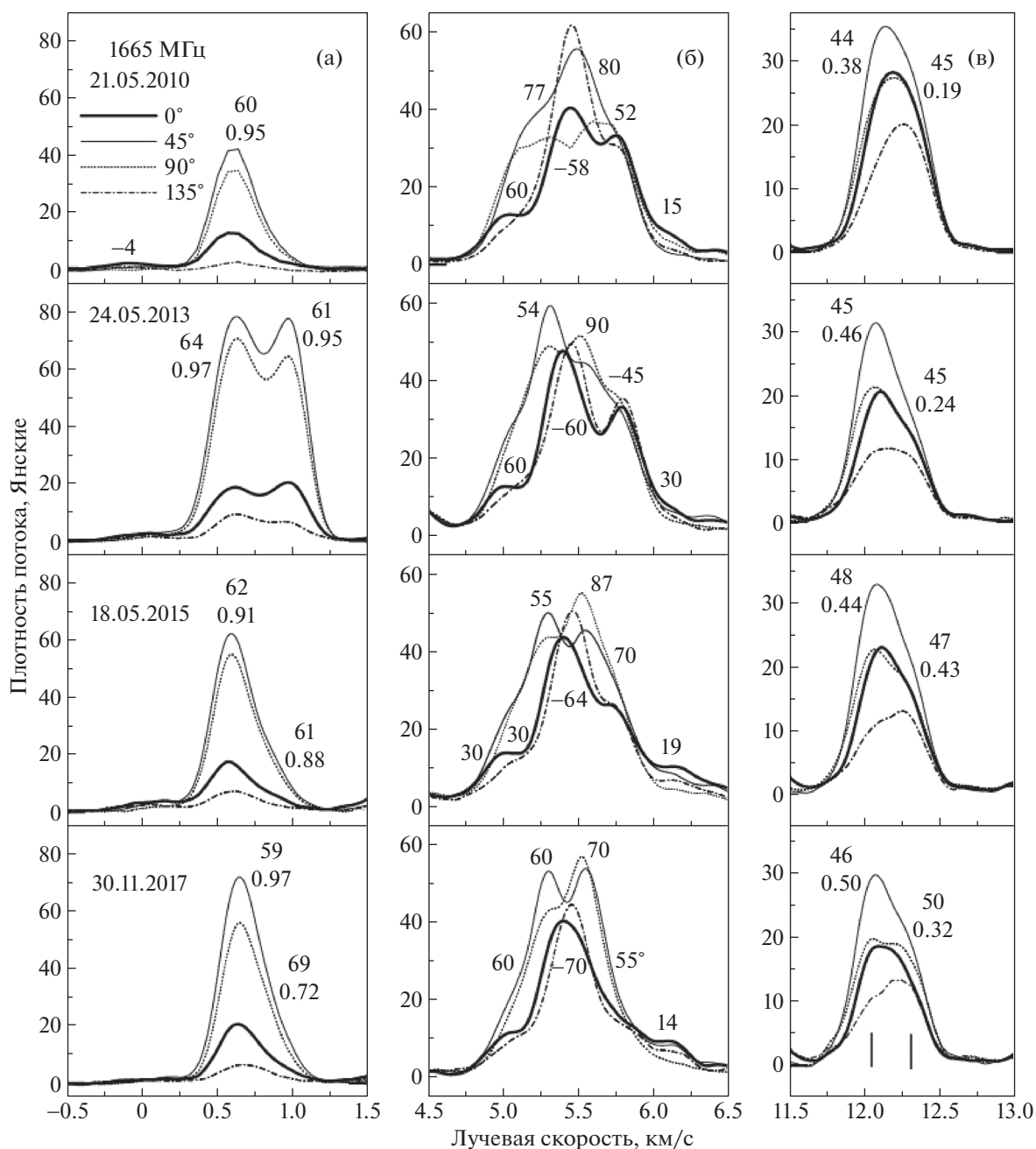
Переменность лучевой скорости большинства спектральных деталей в линии 1665 МГц представлена на рис. 10а, а плотности потока основных деталей показаны на рис. 10б, в, г. Данные нанесены для параметра Стокса  $I$  (полный поток). На графике точки для основных деталей соединены прямыми линиями, поскольку их лучевые скорости не изменялись, либо изменялись очень слабо. Эти детали пронумерованы. На панелях (б)–(г), кроме номера детали, также указана ее лучевая скорость.

Видно, что в 2007–2009 гг. происходили сильные вспышки мазерного излучения. Временной интервал нашего мониторинга, равный 17 годам (2007–2020 гг.), оказался недостаточным для выявления каких-либо периодических вариаций излучения мазера ОН в целом. Мы можем только констатировать факт существенного повышения активности всего мазерного источника в 2007–2009 гг.

Наш мониторинг показал, что излучение в интервале скоростей 12.0–12.5 км/с всегда имело двойную структуру. Оба компонента (12.05 и 12.28 км/с) сохраняли свои лучевые скорости, а соотношение потоков не менялось. Более сильным был первый компонент. Параметр  $m_C$  менялся очень слабо. Более существенными были изменения  $m_L$  и  $\chi$  и они хорошо аппроксимируются ломаной линией, состоящей из двух отрезков прямых линий. Причем имеется хорошая корреляция с плотностью потока (см. рис. 10).

Детали 4.1 и 9.14 км/с одиночные, узкие и характер вариаций всех параметров поляризации идентичный. Наблюдаются небольшой разброс точек и тенденция медленного роста/уменьшения всех параметров. Степень круговой поляризации для обеих деталей в два раза выше степени их линейной поляризации —  $\sim 0.8$  и  $\sim 0.4$  соответственно. Причем преобладало излучение в левой круговой поляризации. Несмотря на то, что плотность потока каждой детали менялась в два раза, ширина линии обеих деталей при этом не менялась и составляла 0.21 км/с. Также оставалась постоянной лучевая скорость. Таким образом, имеются стабильные спектральные детали.

У короткоживущей в активной фазе детали  $-0.24$  км/с, вспышка которой была самой сильной за период нашего мониторинга (2007–2020 гг.), плотность потока в максимуме достигала



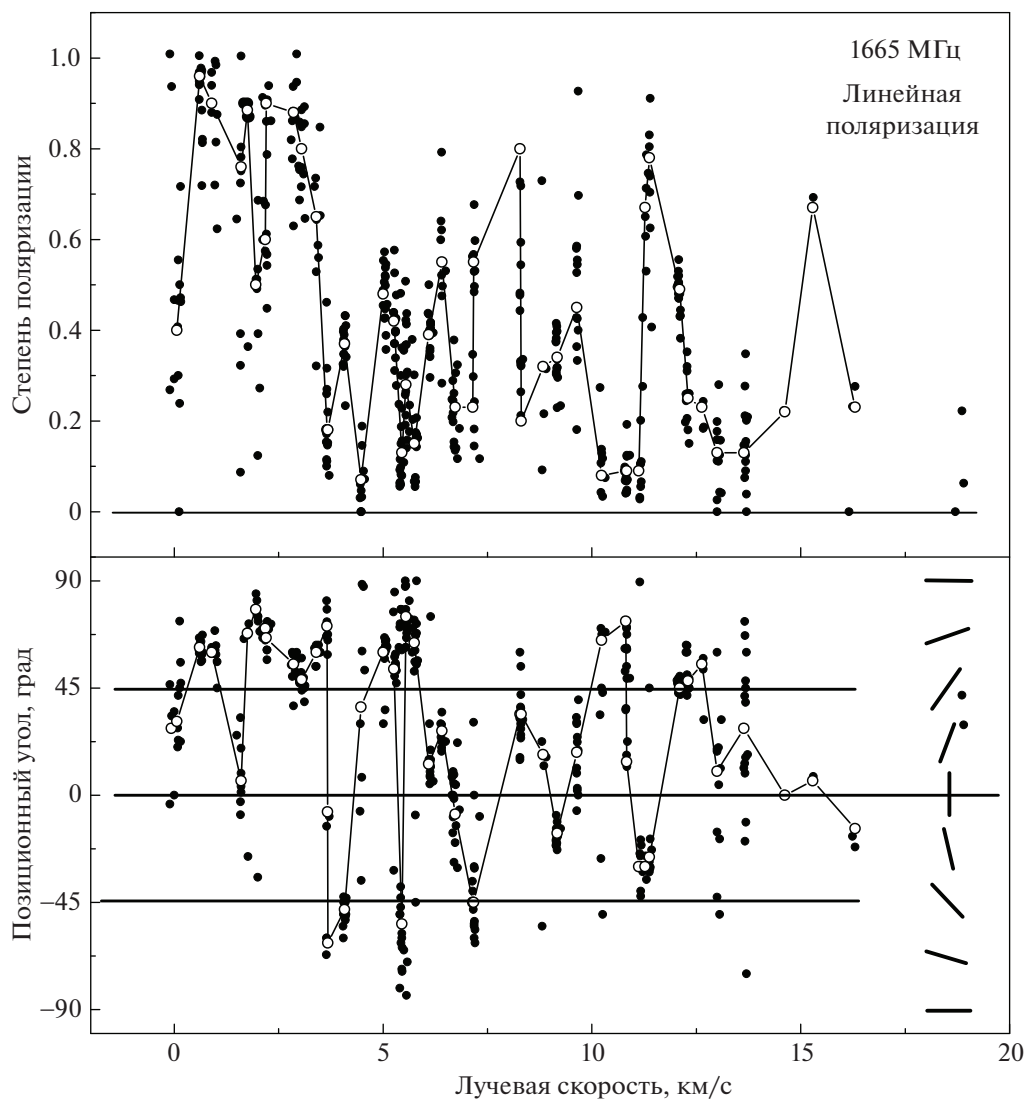
**Рис. 7.** Излучение ОН на волне 18 см в линии 1665 МГц для трех основных групп деталей в четырех направлениях линейной поляризации в источнике W75 N. Указаны эпохи наблюдений. Приведены позиционные углы и степени линейной поляризации (для деталей в левом и правом столбцах). Отрезками вертикальных линий в нижней панели правого столбца показаны положения вписанных деталей.

ла 750 Ян, позиционный угол и степень поляризации варьировались в небольшом интервале значений.

Мы уже отмечали, что излучение вблизи скорости 2.1 км/с исходит не от одиночной детали. В этой области спектра имеется не менее трех деталей. В каждой эпохе излучение одной из них является преобладающим, причем значительно. По

этой причине вариации всех параметров были существенными, но, тем не менее, четко просматриваются закономерности в переменности каждого параметра.

В 2007–2009 г. достаточно высокий уровень активности наблюдался у детали 3.5 км/с и она сильно блендировала деталь 3.05 км/с. Поэтому погрешность измерения потока последней была



**Рис. 8.** Наложение степени поляризации и позиционного угла для разных эпох. На нижней панели справа для наглядности показаны направления плоскости линейной поляризации. Для эпохи 6.03.2014 соседние точки соединены прямыми линиями.

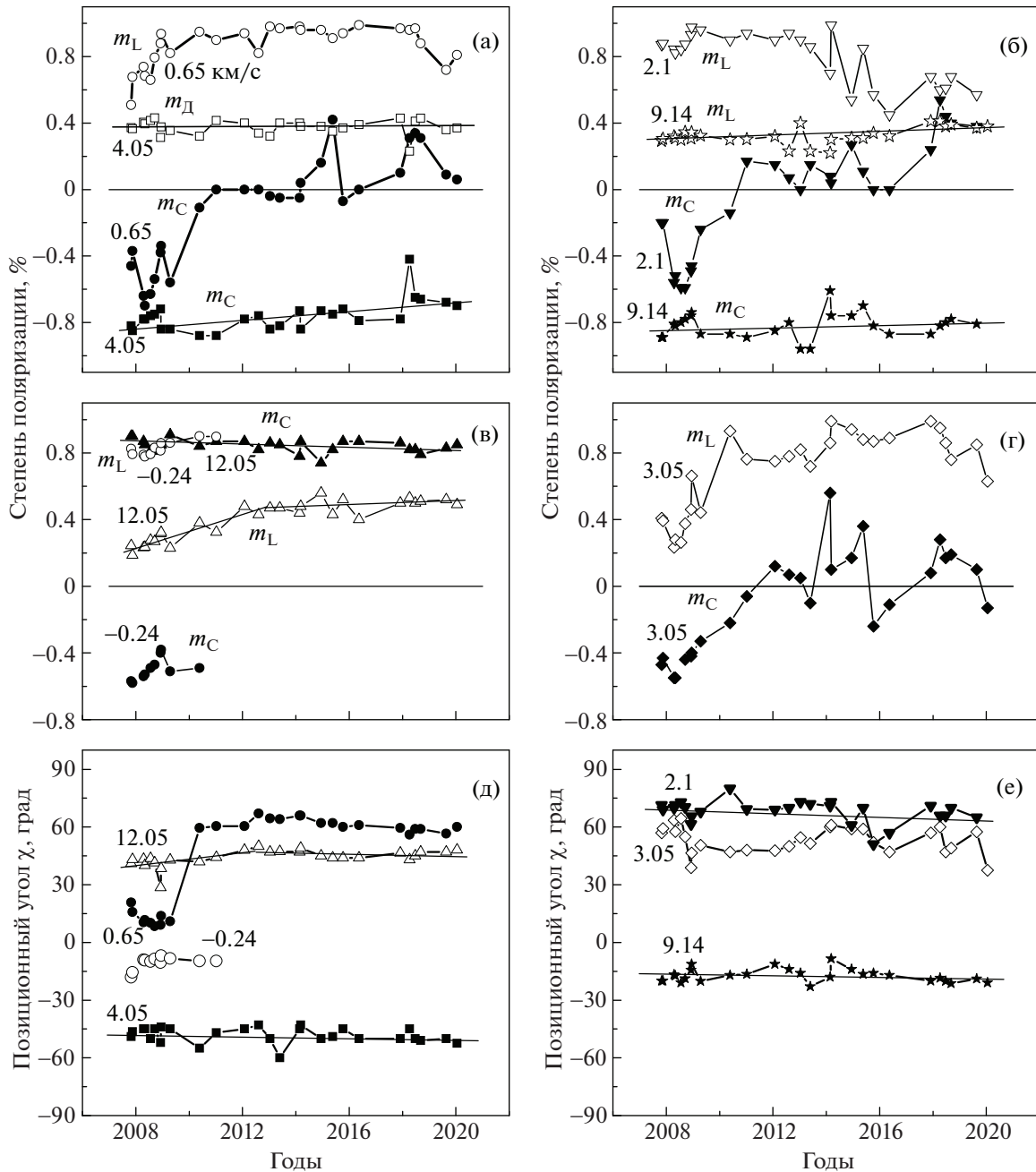
высокой. В это время были значительные изменения всех параметров поляризации. Скорее всего это было больше связано с деталью 3.5, чем с 3.05 км/с. С 2010 г. уровни потоков обеих деталей стали одинаковыми и деталь 3.5 км/с уже слабо влияла на измерения поляризационных параметров детали, средняя скорость которой составила 3.05 км/с. При этом с 2011 г. характер переменности параметров поляризации изменился. Несмотря на большие колебания, средний уровень  $m_L$ ,  $m_C$  и  $\chi$  более или менее сохранился.

Также отметим, что скорость данной детали дважды претерпевала небольшие скачки: сначала с 3.05 до 2.85, а затем снова до 3.05 км/с. Кроме того, в небольших пределах имели место вариации

скорости в пределах ширины линии. Наблюдаемый характер переменности лучевой скорости, плотности потока (см. рис. 10) и поляризационных параметров показывает, что скорее всего имеется сильно неоднородная структура в области спектра 2.8–3.1 км/с.

Таким образом, мониторинг показал, что на протяжении 17 лет наряду с переменностью плотности потока спектральных деталей в главной линии ОН 1665 МГц происходили изменения позиционного угла и степени круговой и линейной поляризации. Причем имели место некоторые закономерности в их изменении.

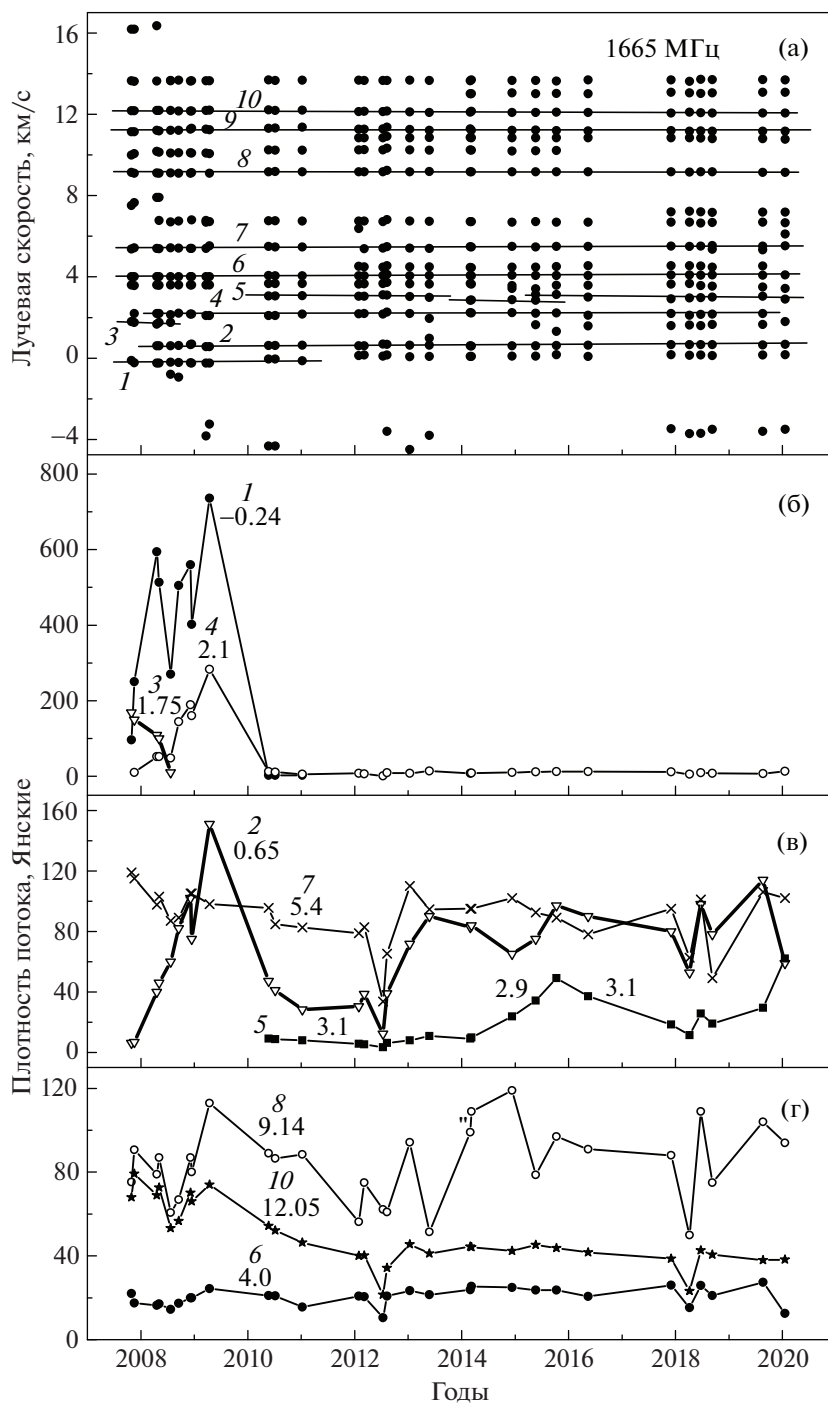
Для оценки состояния мазера ОН W75 N в течение длительного временного интервала прове-



**Рис. 9.** Переменность степени поляризации (а–г) и позиционного угла (д, е) основных спектральных деталей W75 N в линии ОН 1665 МГц. Указаны лучевые скорости деталей. Кривые с индексами  $m_L$  и  $m_C$  отражают принадлежность к линейной и круговой поляризациям соответственно. Для лучшего восприятия графиков для линейной поляризации введены светлые символы, а для круговой поляризации затемненные символы (подробности см. в тексте).

дем исследования переменности спектральной детали на скорости около 12.05 км/с. С момента открытия этого мазера в 1968 г. всегда отмечалось, что эта деталь является самой сильной и основной при проведении VLBA исследований. На рис. 11 нанесены все имеющиеся в литературе данные по этой детали. К сожалению, имеется большой временной интервал, когда наблюдения

ОН в W75 N не проводились. Тем не менее выделяются два максимума активности. Первый в 1973–1974 гг., а второй примерно во временном интервале 1998–2008 гг. Если принять их за максимум активности мазера ОН, то цикл активности может составить ~30 лет. Для других спектральных деталей такого ярко выраженного характера переменности мы не нашли.



**Рис. 10.** Эволюция лучевой скорости и плотности потока отдельных спектральных деталей. Точки основных деталей соединены прямыми линиями. Наиболее интенсивные детали пронумерованы и указаны их лучевые скорости.

Наблюдения в линии 1665 МГц проводились нами в достаточно широком интервале лучевых скоростей, и эпизодически на  $V_{\text{LSR}} < -3$  км/с и  $V_{\text{LSR}} > 14$  км/с появлялись короткоживущие детали с потоком 0.2–2 Ян и высокой степенью круговой поляризации. Таких всплесков наблюдалось

более 30. Минимальное значение лучевой скорости составило  $-4.5$ , а максимальное  $19.2$  км/с.

Мы также несколько раз проводили наблюдения в спутниковой линии 1612 МГц. Зарегистрированная линия имела центральную скорость  $9.6$  км/с, а ширину  $1.9$  км/с. Если принять, что

Плотность потока, Янские

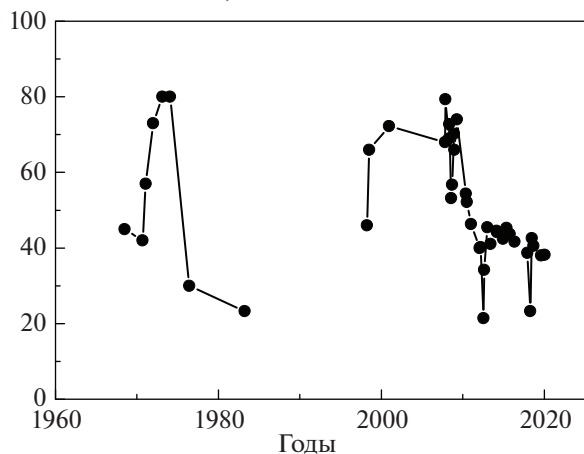


Рис. 11. Переменность плотности полного потока основной детали 12.1 км/с.

максимальная температура среды равна 120 К, то ширина линии составит 1.4 км/с. Уширение линии до 1.9 км/с свидетельствует о том, что в среде, кроме тепловых, имеются также турбулентные движения вещества.

4.3. Пространственное отождествление деталей

Для отождествления спектральных деталей ОН с мазерными пятнами на картах высокого углового разрешения мы воспользовались результатами VLBA-наблюдений Слыша и др. [13] и Фиша и др. [14]. Первые были проведены 1 июля 1998 г., а вторые 22 ноября 2000 г. и 6 января 2001 г. Из данных Фиша мы выбрали основные детали с потоками более 2 Ян. Эти данные были нанесены на рис. 12.

Относительное склонение, мсек

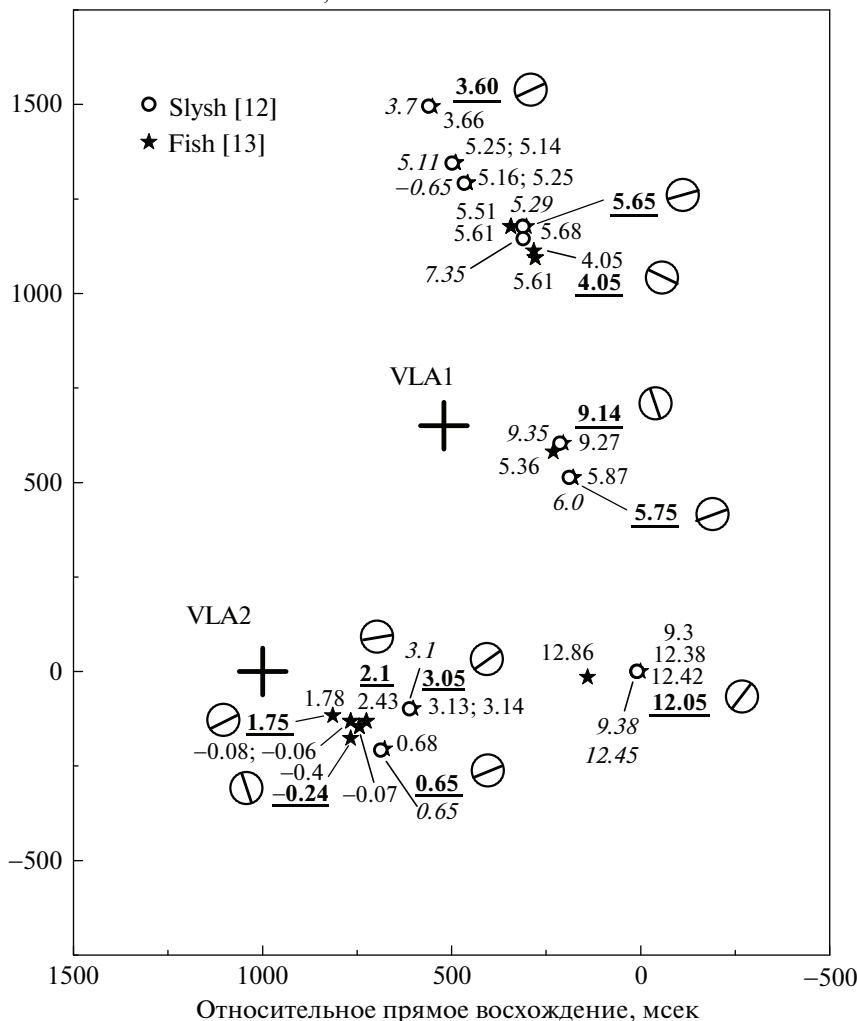


Рис. 12. Карта расположения мазерных пятен ОН в линии 1665 МГц на две эпохи, согласно наблюдениям Слыша и др. [13] (светлые кружки) и Фиша и др. [14] (звездочки). Указаны лучевые скорости мазерных пятен: прямым шрифтом для данных Фиша, а курсивом для данных Слыша. Жирным шрифтом с подчеркиванием указаны скорости отождествленных деталей нашего мониторинга. Отрезки прямых линий внутри больших кружков показывают позиционный угол линейной поляризации. Крестиками нанесены положения компактных областей НН: VLA 1 и VLA 2.

Наибольшая трудность возникает с главной деталью. Напомним, что Слыш и др. [13] нашли зеемановскую пару, компоненты которой имеют лучевые скорости 12.45 и 9.38 км/с в правой и левой круговых поляризациях соответственно. Расщепление составило 3.07 км/с, что соответствует величине магнитного поля 5.2 мГс. Как мы указывали выше, вместо детали 12.45 км/с во всех спектрах нашего мониторинга с 2007 г. присутствуют две детали: 12.05 и более слабая 12.28 км/с. Обе эти детали имеют одинаковые параметры линейной поляризации. В то же самое время деталь зеемановской пары 9.38 км/с является одиночной. Это свидетельствует о том, что одна из деталей интервала 12–12.4 км/с не расщепляется. Возможно, что она расположена не вблизи пятна *A* (в работе Слыша и др. [13] это пятно соответствует положению детали с лучевой скоростью 12.45 км/с), а где-то в другом месте дуги.

Согласно всем наблюдениям с середины 1968 по март 1983 г. излучение, часто самое интенсивное, происходило на скорости около  $-12$  км/с. В наблюдениях Аргон и др. 26 марта 1998 г. [12] и Слыша и др. 1 июля 1998 г. [13] скорость излучения в этом участке спектра сместилась к 12.47 и 12.45 км/с соответственно. Позже Фиш и др. в декабре 2000 г. [14] также зарегистрировали излучение на 12.42 км/с, а в апреле 2008 г. на 12.33 км/с [24]. Так что вопрос о принадлежности излучения на 12.0 и 12.45 км/с к определенному мазерному пятну остается открытым.

Отождествление других спектральных деталей с мазерными пятнами на карте не представило каких-либо сложностей. В некоторых случаях для уточнения мы также воспользовались более поздними данными Фиша и др. [24]. Лучевые скорости деталей нашего мониторинга нанесены жирным шрифтом с подчеркиванием. Рядом отрезками прямых линий внутри больших кружков показано положение позиционного угла  $\chi$  линейной поляризации. Поскольку позиционный угол для каждой детали менялся в течение всего мониторинга (см. раздел 4.1 и рис. 9), то его значения были выбраны в эпохи наиболее стабильных значений, т.е. вне вспышек. Исключением была деталь 1.75 км/с, которая наблюдалась в течение короткого времени и, следовательно, позиционный угол  $\chi$  был определен для нее во время вспышки. Однако значение угла  $\chi$  сохранялось на протяжении всей вспышки.

С мазерными пятнами VLA 1 (молекулярного потока) мы отождествили шесть спектральных деталей. Они расположены в разных частях дуги и хорошо иллюстрируют, что позиционный угол плавно меняется вдоль дуги. Это хорошо согласуется с результатами Слыша и др. [13].

С мазерными пятнами источника VLA 2 отождествлено пять спектральных деталей. Причем

для четырех из них наблюдались сильные вспышки в период высокой активности мазера ОН в 2007–2009 гг. Таким образом, мы установили, что сильные вспышки ОН были связаны с VLA 2 (протопланетным диском). В период этой вспышки для деталей 1.75, 2.1 и 3.05 км/с наблюдались небольшие изменения угла  $\chi$  и существенные изменения степени как линейной, так и круговой поляризации (см. рис. 9). Для детали 0.65 км/с наблюдались существенные изменения всех параметров излучения.

## 5. ВЫВОДЫ

В процессе выполнения мониторинга обнаружены временные вариации параметров Стокса для всех спектральных деталей в главной линии ОН 1665 МГц в диапазоне лучевых скоростей от  $-1$  до 14 км/с. Обнаружено, что позиционный угол  $\chi$  и степень линейной поляризации  $m_L$ , а также степень круговой поляризации  $m_C$  большинства деталей меняются со временем не хаотически, а по определенным закономерностям, либо меняются очень слабо, и имеется корреляция с переменностью плотности потока. При этом лучевые скорости деталей меняются очень слабо.

Получено, что основная деталь 12 км/с на протяжении 50 лет с момента открытия мазера ОН в W75 N имела два максимума активности с интервалом между ними около 30 лет.

Проведено отождествление спектральных деталей излучения ОН в линии 1665 МГц с мазерными пятнами на VLBA картах. Показано, что сильная вспышка основных деталей в 2007–2009 гг. произошла в источнике VLA 2. В период этой вспышки у деталей 1.75, 2.1 и 3.05 км/с наблюдались небольшие изменения угла  $\chi$  и существенные изменения степени как линейной, так и круговой поляризации. У детали 0.65 км/с были существенные изменения всех параметров излучения.

Наблюдения в линии 1665 МГц проводились нами в достаточно широком интервале лучевых скоростей, и мы обнаружили, что эпизодически на  $V_{\text{LSR}} < -3$  км/с и  $V_{\text{LSR}} > 14$  км/с появлялись короткоживущие детали с потоком 0.2–2 Ян.

Зарегистрированное в сателлитной линии 1612 МГц излучение имело центральную скорость 9.6 км/с, а ширину 1.9 км/с. При максимальной температуре среды 120 К ширина линии составит 1.4 км/с. Уширение линии до 1.9 км/с свидетельствует о том, что в среде имеются также турбулентные движения вещества.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Медонской (Франция) радиоастрономической

обсерватории за большую помощь в проведении наблюдений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *H. J. Habing, W. M. Goss, H. E. Matthews, and A. Winberg*, *Astron. and Astrophys.* **35**, 1 (1974).
2. *K. L. J. Rygl, A. Brunthaler, K. M. Menten, M. J. Reid, et al.*, Proc. of the 10th European VLBI Network Symp. and EVN Users Meeting. *VLBI and the new generation of radio arrays*, September 20–24, 2010 (Manchester, UK), <http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=125>, p. id. 103.
3. *J. M. Torrelles, J. F. Gómez, L. F. Rodríguez, P. T. P. Ho, S. Curiel, and R. Vazquez*, *Astrophys. J.* **489**, 744 (1997).
4. *C. G. Wynn-Williams, E. E. Becklin, and G. Neugebauer*, *Astrophys. J.* **187**, 473 (1974).
5. *J. M. Torrelles, L. A. Patel, G. Anglada, J. F. Gómez, et al.*, *Astrophys. J.* **598**, L115 (2003).
6. *Е. Е. Лехт, В. И. Слыш, В. В. Краснов*, *Астрон. журн.* **84**, 1070 (2007).
7. *Zuckerman, D. F. Dickinson, J. A. Ball, H. Penfield, A. E. Lilley, and P. Palmer*, *Astron. J.* **73**, S210 (1968).
8. *M. Szymczak and E. Gérard*, *Astron. and Astrophys.* **494**, 117 (2009).
9. *W. T. Sullivan, III, and J. H. Kerstholt*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **26**, 399 (1976).
10. *А. В. Алакоз, В. И. Слыш, М. В. Попов, И. Е. Вальци*, *Письма в Астрон. журн.* **31** (6), 422 (2005).
11. *E. E. Baart, R. J. Cohen, R. D. Davies, R. P. Norris, and P. R. Rowland*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **219**, 145 (1986).
12. *A. L. Argon, M. J. Reid, and K. M. Menten*, *Astrophys. J. Suppl.* **129**, 159 (2000).
13. *V. I. Slysh, V. Migenes, I. E. Val'ts, S. Yu. Lyubchenko, S. Horiuchi, V. I. Altunin, E. B. Fomalont, and M. Inoue*, *Astrophys. J.* **564**, 317 (2002).
14. *V. L. Fish, M. J. Reid, A. L. Argon, and X-W. Zheng*, *Astrophys. J. Suppl.* **160**, 220 (2005).
15. *V. L. Fish, M. Gray, W. M. Goss, and A. M. S. Richards*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **417**, 555 (2011).
16. *A. D. Haschick, M. J. Reid, B. F. Burke, J. M. Moran, and G. Miller*, *Astrophys. J.* **244**, 76 (1981).
17. *M. D. Gray, B. Hutawarakorn, and R. J. Cohen*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **343**, 1067 (2003).
18. *V. L. Fish, M. J. Reid, K. M. Menten, and T. Pillai*, *Astron. and Astrophys.* **458**, 485 (2006).
19. *П. Колом, Е. Е. Лехт, М. И. Пащенко, Г. М. Рудницкий, А. М. Толмачев*, *Астрон. журн.* **95**, 471 (2018).
20. *В. И. Слыш, М. И. Пащенко, Г. М. Рудницкий, В. М. Витрищак, П. Колом*, *Астрон. журн.* **87**, 655 (2010).
21. *Н. Т. Ашимбаева, П. Колом, В. В. Краснов, Е. Е. Лехт, М. И. Пащенко, Г. М. Рудницкий, А. М. Толмачев*, *Астрон. журн.* (2020) (в печати).
22. *W. T. Sullivan, III and J. H. Kerstholt*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **26**, 399 (1976).
23. *R. D. Davies, R. S. Booth, and J.-N. Perbet*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **181**, 83 (1977).
24. *V. L. Fish, M. Gray, W. M. Goss, and A. M. S. Richards*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **417**, 555 (2011).