

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОН В ЛИНИЯХ 18 СМ В ОБЛАСТИ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ G 109.871+2.114 (СЕР А)

© 2024 г. Е. Е. Лехт<sup>1</sup>, \*, Н. Т. Ашимбаева<sup>1</sup>, В. В. Краснов<sup>2</sup>, В. Р. Шутенков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, Москва, Россия

<sup>2</sup>Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева  
Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup>Пуцинская радиоастрономическая обсерватория, Астрокосмический центр Физического института  
им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, Пуццино, Россия

\*E-mail: eelekht@mail.ru

Поступила в редакцию 29.05.2024 г.

После доработки 18.07.2024 г.

Принята в печать 18.07.2024 г.

Приведены результаты исследования области звездообразования G 109.871+2.114 (Сер А) в линиях ОН на 18 см. Поляризационные наблюдения (мониторинг) были выполнены на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция) в 2007–2024 гг. Мазерное излучение ОН является сильно переменным. Меняются структура спектра и плотность потока отдельных деталей. Однако, лучевые скорости большинства деталей изменились незначительно. Наблюдалась кратковременные вспышки излучения отдельных деталей. Многие детали имеют сильную круговую поляризацию, достигающую 100%, но слабую линейную поляризацию. В линии 1667 МГц обнаружены новая деталь на скорости  $-15.53$  км/с и кратковременная деталь на скорости  $1.58$  км/с с высокой круговой и низкой линейной поляризациями. Проведено пространственное отождествление спектральных деталей нашего мониторинга с мазерными пятнами на картах Cohen, Argon и Fish. Измерена величина монотонного уменьшения расщепления, и, следовательно, продольного магнитного поля трех зеемановских пар ( $-16.2L / -14.25R$  км/с и  $-6.94L / -0.82R$  в линии 1665 МГц и  $-15.76L / -14.2R$  в линии 1667 МГц). Для пары  $-13.95L / -11.60R$  в линии 1665 МГц изменение расщепления не обнаружено. В спутанных линиях 1612 и 1720 МГц наблюдается широкополосное поглощение и излучение соответственно. В линии 1720 МГц также обнаружена зеемановская пара. Вычислена величина позиционного угла  $\chi$  для линейно поляризованного излучения большинства спектральных деталей в обеих главных линиях 1665 и 1667 МГц. Показано, что магнитное поле в областях Н II ориентировано либо вдоль внешнего магнитного поля, либо вдоль радио джетов.

*Ключевые слова:* звездообразование, мазеры ОН, молекулярные облака и биполярные потоки, магнитные поля, индивидуальные объекты: G 109.871+2.114 (Сер А)

DOI: 10.31857/S0004629924090046 EDN: IBEKQD

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Сер А представляет собой сложную структуру в плотном молекулярном облаке в нашей Галактике. Хьюз и Ваутерлут [1] обнаружили в комплексе не менее 14 областей Н II. Последующие наблюдения выявили еще больше источников радио континуума [2, 3]. Многие из них связаны со встроенными тепловыми источниками в виде недавно сформировавшихся звезд классов О и В.

Расстояние до комплекса,  $700 \pm 40$  пк, было определено как с помощью измерения РСДБ-параллакса по непрерывному излучению от HW9

[4], так и с помощью метанольных мазеров, связанных с HW2 [5].

Самый яркий источник радио континуума HW2 содержит по меньшей мере четыре компактных источника [6] и, видимо, является источником двух тепловых джетов [7, 8]. 6-сантиметровый радио джет ориентирован под углом  $44^\circ$  по направлению с северо-востока на юго-запад [9]. Наблюдаются водяные мазеры, связанные с этим джетом [10]. Их собственные движения предполагают наличие по меньшей мере трех различных участков звездообразования в пределах прост-

ранства радиусом 200 а. е. [11]. Южнее расположены три источника континуума: HW3c, HW3div и HW3dii.

Источник HW3c демонстрирует признаки наличия множества компонентов [6]. Водяные мазеры наблюдаются вокруг HW3dii и близлежащего источника HW3DI, который не обнаружен в рентгеновском диапазоне [12].

Мазерное излучение ОН в направлении Сер А обнаружили Пашенко и др. [13]. Фиш и др. [14] уточнили, что ОН мазеры располагаются вокруг HW2, HW3c и HW3DIV. Также наблюдается скопление мазеров ОН между HW3div и HW3dii и имеется одиночный мазер, не связанный с каким-либо конкретным источником непрерывного излучения.

Поляризационные исследования мазеров ОН в Сер А выполнили Коэн и др. [15], позднее Барткевич и др. [16]. Наблюдая квартет Зеемана на частотах 1665 и 1667 МГц, они обнаружили монотонное уменьшение магнитного поля в течение 25 лет. Согласно работе [16] электрические векторы мазеров ОН, наблюдаемые во внешних частях областей Н II, согласуются с ориентацией межзвездного магнитного поля, в то время как векторы, наблюдаемые в центрах областей Н II, параллельны радио джетам. Кроме того, авторы [16] пришли к заключению, что в области Сер А имеются два центра активности, расположенные на севере и юге области.

## 2. АППАРАТУРА И НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения (мониторинг) мазерного излучения ОН в направлении источника G 109.871 + 2.114 (Сер А) в линиях ОН на волне 18 см были проведены на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция) для 24 эпох с 2007 по 2024 г. Наблюдения проводились в основном в главных линиях 1665 и 1667 МГц, а также эпизодически в сателлитных линиях 1612 и 1720 МГц.

Чувствительность телескопа составляет 1.4 К/Ян. Приемная аппаратура телескопа позволяет принимать излучение в двух главных линиях, либо в линии 1667 МГц и одной из сателлитных линий. При одном из двух возможных положений облучателя принимается излучение в обеих круговых поляризациях и одного из двух направлений линейной поляризации:  $0^\circ$  и  $90^\circ$ . Затем облучатель поворачивают на угол  $45^\circ$

и снова принимают излучение в обеих круговых поляризациях и излучение в линейной поляризации в направлениях  $45^\circ$  и  $135^\circ$ . Таким образом, осуществлялась регистрация шести мод поляризации. Отметим, что данные об излучении в круговых поляризациях являются избыточными.

В линии 1665 МГц в 2007–2009 гг. использовалось спектральное разрешение 0.1373 км/с, а с июля 2009 г. 0.0687 км/с. Методика наблюдений и обработки данных были неоднократно подробно изложены в наших предыдущих публикациях (см., напр., [17, 18]).

Тем не менее напомним, что из наблюдений мы получаем значения плотности потока  $F(RC)$  и  $F(LC)$  для круговой поляризации и  $F(0^\circ)$ ,  $F(45^\circ)$ ,  $F(90^\circ)$  и  $F(135^\circ)$  для линейной поляризации в четырех направлениях. Параметры Стокса вычислялись по формулам:

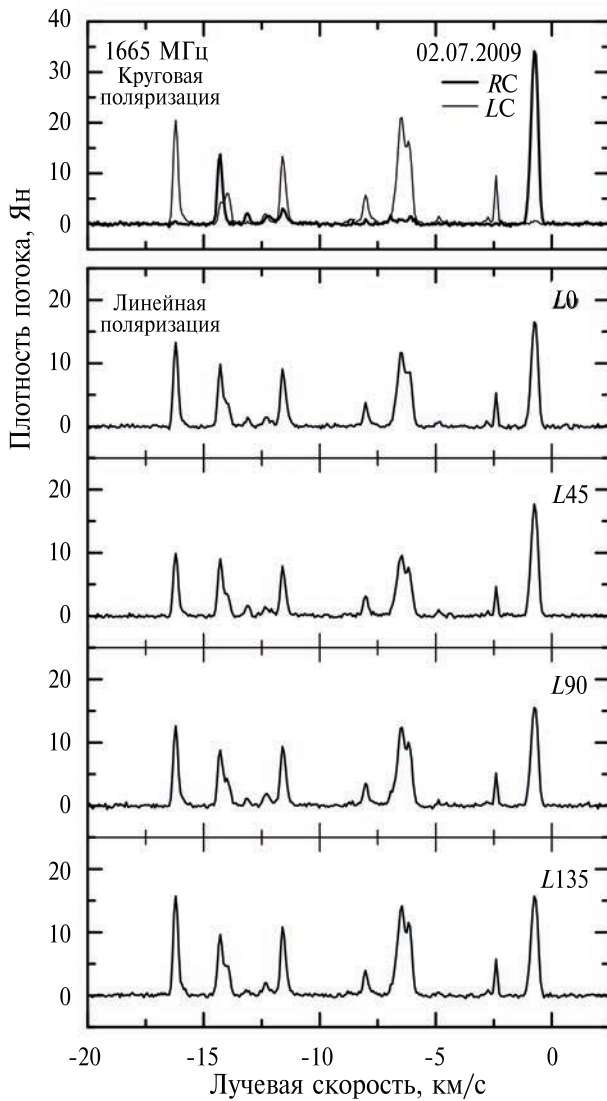
$$\begin{aligned} I &= F(0^\circ) + F(90^\circ) = F(RC) + F(LC), \\ Q &= F(0^\circ) - F(90^\circ), \\ U &= F(45^\circ) - F(135^\circ), \\ V &= F(RC) - F(LC). \end{aligned}$$

Степень поляризации  $m_L$  и позиционный угол  $\chi$  для линейной поляризации, степень круговой поляризации  $m_C$  и степень полной поляризации  $p$  основных деталей вычислялись по формулам:

$$\begin{aligned} m_L &= \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I}, \\ \chi &= 0.5 \arctg(U / Q), \\ m_C &= V / I, \\ p &= \frac{\sqrt{Q^2 + U^2 + V^2}}{I} = \sqrt{m_C^2 + m_L^2}. \end{aligned}$$

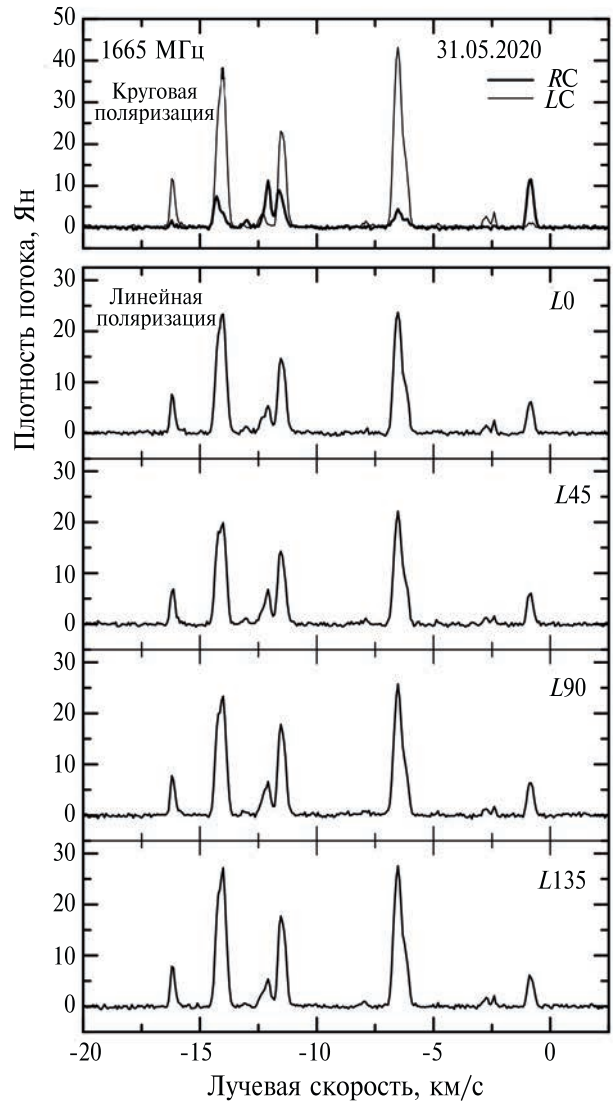
## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Для демонстрации наиболее характерных свойств мазерного излучения ОН в Сер А (переменность потока и структуры спектра) мы выбрали для каждой главной линии спектры двух эпох наблюдений. На рис. 1 и 2 представлены центральные части спектров в главной линии ОН 1665 МГц для эпох 2 июля 2009 г. и 31 мая 2020 г., а на рис. 3 и 4 в главной линии 1667 МГц для эпох 15 ноября 2007 г. и 8 октября 2022 г. Спектры даны для обеих круговых поляризаций и четырех направлений линейной поляризации.



**Рис. 1.** Спектры мазерного излучения ОН в главной линии 1665 МГц в направлении Сер А в эпоху 02.07.2009. На верхней панели показаны спектры в правой (жирная линия) и левой (тонкая линия) круговой поляризации. На остальных панелях даны спектры в линейной поляризации при положениях плоскости поляризации антенны (РА) 0°, 45°, 90° и 135°.

Наиболее интенсивное мазерное излучение ОН в Сер А наблюдается в линии 1665 МГц. Происходит оно в интервале лучевых скоростей от  $-16.5$  до  $-0.6$  км/с. Было выделено 13 деталей. Для большинства из них измерены параметры поляризации. Трудность заключается в том, что для некоторых деталей излучение недостаточно сильное и оно имеет малую степень линейной поляризации. Поэтому для некоторых эпох наблюдений, когда была невысокая активность мазера, не было возможности оценить с необхо-



**Рис. 2.** То же, что на рис. 1, но в эпоху 31.05.2020.

димой точностью значения потоков некоторых деталей из-за влияния шумов приемной системы.

В линии 1667 МГц излучение более слабое, чем в линии 1665 МГц. Излучение наблюдается в диапазоне лучевых скоростей от  $-16$  до  $-3$  км/с. Число выделенных нами деталей в спектре достигает 11. Лишь однажды в эпоху 5 апреля 2018 г. наблюдалась деталь на скорости 1.58 км/с. Имеется та же проблема определения позиционного угла низкоинтенсивных деталей, что и для деталей спектров 1665 МГц.

Сложными для анализа являются интервалы скоростей от  $-14.65$  до  $-13.50$  км/с и от  $-12.5$  до  $-11.2$  км/с в спектрах 1665 МГц. Согласно Фиш и др. [19] в первом интервале спектра имеется несколько деталей. Основными из них являются

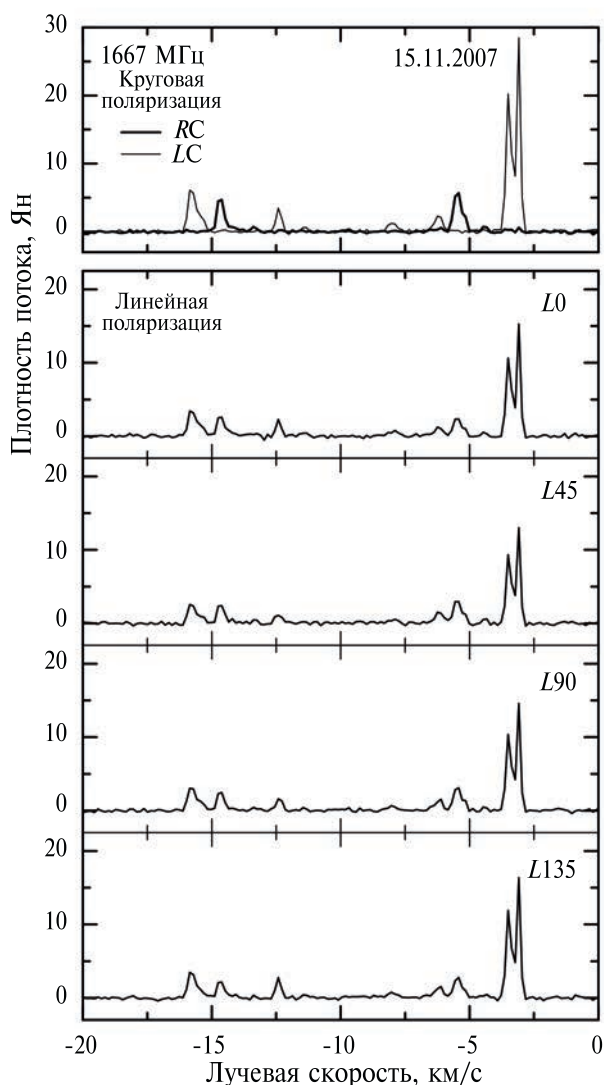


Рис. 3. То же, что на рис. 1, но в линии ОН 1667 МГц и в эпоху 15.11.2007.

–14.32, –14.25 и –13.83 км/с. Во втором интервале также выделяются три основные детали, для двух из которых наблюдается изменение лучевой скорости. Излучение деталей имеет противоположные направления круговой поляризации.

## 4. ДИСКУССИЯ

### 4.1. Переменность излучения спектральных деталей

Переменность плотности потока отдельных деталей представлена на рис. 5 и 6. Указаны лучевые скорости деталей. Мы наблюдали сильную переменность излучения в линиях 1665 и 1667 МГц в период 2007–2024 гг. Это также отметили Барткович и др. [16] по результатам исследований

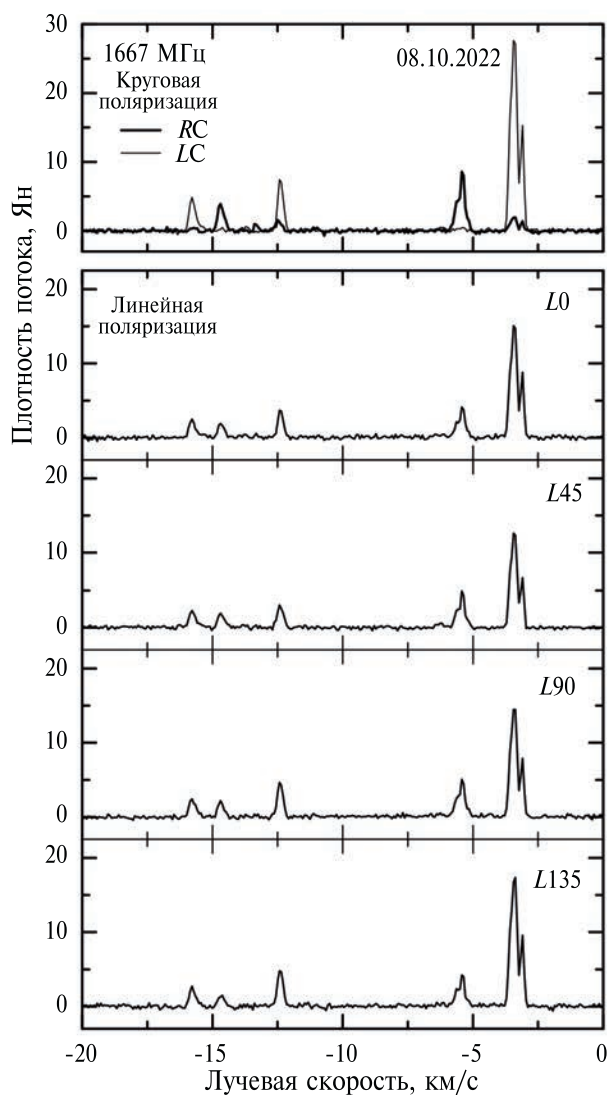


Рис. 4. То же, что на рис. 1, но в линии ОН 1667 МГц и в эпоху 08.10.2022.

в течение 25 лет (1981–2005 гг.). Существенных изменений лучевой скорости деталей не обнаружено. Наблюдаются лишь незначительные изменения, но они имеют важное значение для исследования эволюции поляризационных параметров мазерного излучения. Например, при исследовании деталей зеemanовских пар (см. в подсекции 4.3).

Как мы уже отмечали, в Сер А также наблюдаются вспышки мазерного излучения отдельных деталей. Излучение в линии 1667 МГц на скорости  $V_{LSR} = 1.58$  км/с наблюдалось нами только в эпоху 5 апреля 2018 г. Излучение имело высокую степень круговой поляризации ( $m_C = 0.37$ ), но низкую степень линейной поляризации  $m_L$ . По этой причине, а также ввиду небольшой величины сигнала

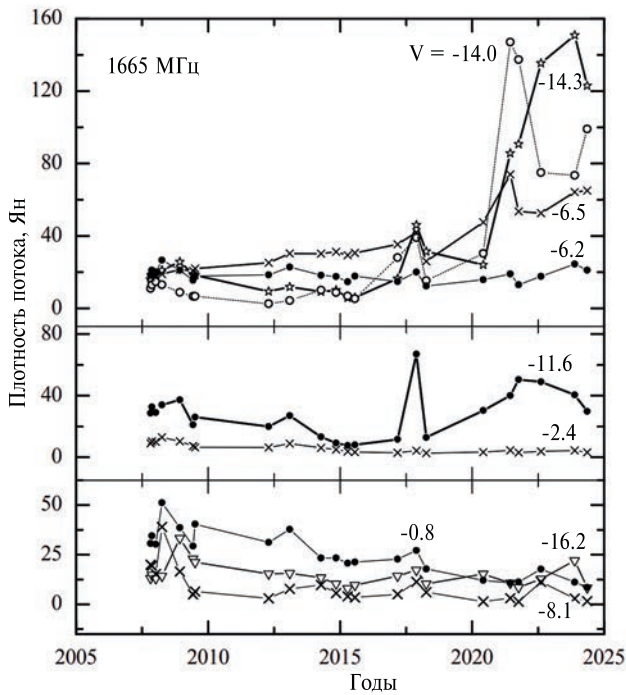


Рис. 5. Переменность плотности потока основных деталей в Сер А в линии 1665 МГц. Указаны лучевые скорости деталей.

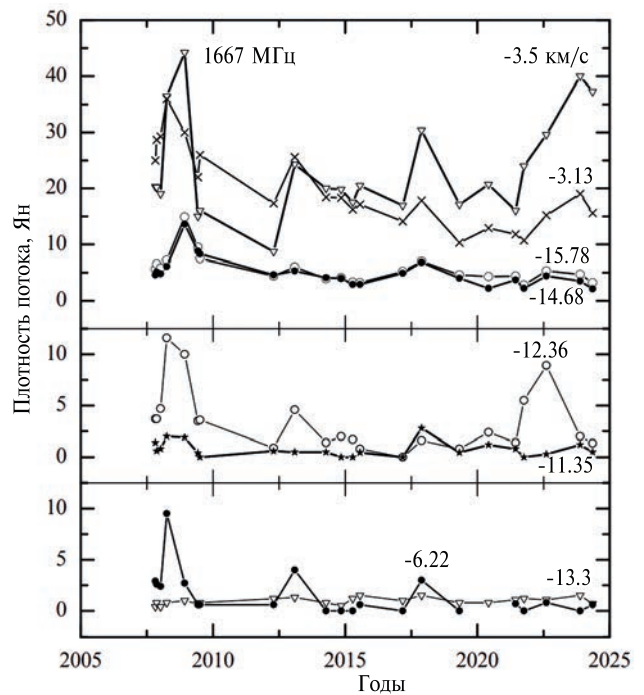


Рис. 6. То же, что на рис. 5, но в линии 1667 МГц.

( $I = 2.4$  Ян), нам не удалось оценить параметры линейной поляризации этого излучения.

Переменность позиционного угла  $\chi$  линейно поляризованного излучения отдельных деталей показана на рис. 7 и 8. Указаны лучевые скорости деталей. Слева отрезками прямых линий нанесены векторы соответствующих позиционных углов  $\chi$ . Переменность угла  $\chi$  деталей  $-11.6$ ,  $-6.5$  и  $-0.8$  км/с на частоте 1665 МГц, полученных в (2007–2020 г.), аппроксимирована полиномами второй степени, а остальных деталей – прямыми линиями. Вписанные полиномы и прямые линии показывают наличие небольшого тренда угла  $\chi$  большинства деталей в обеих главных линиях ОН. Только для одной детали в линии 1665 МГц на скорости  $-11.6$  км/с в течение короткого времени произошло значительное изменение угла  $\chi$  с  $-65^\circ$  до  $60^\circ$ . Это коррелирует с сильной вспышкой излучения на скорости  $-11.6$  км/с (см. рис. 5 и 9).

Обратим внимание на следующее обстоятельство. В спектрах в круговых поляризациях детали RC и LC наблюдаются на разных лучевых скоростях, в то время как во всех направлениях линейной поляризации наблюдается одна деталь Lin (рис. 9(а)). Однако, ее скорость то ближе к скорости детали LC, то к детали RC. Это, ви-

димо, зависит от интенсивности деталей LC и RC. Не исключена вспышка другой, близкой по скорости детали, которая была более слабой и в которой позиционный угол  $\chi$  линейной поляризации ортогонален углу  $\chi$  детали  $-11.6$  км/с. Согласно работе [19] такие детали имеются.

#### 4.2. Пространственное отождествление спектральных деталей

Для отождествления спектральных деталей мы рассмотрели четыре карты на эпохи наблюдений: в 1983 г. [15], в 1991 г. [20], в 1999 г. [16] и в 2001 г. [19]. Наблюдается хорошее совпадение лучевых скоростей деталей и их расположение на картах. За основу мы взяли карту из работы [19], т. к. эпоха наблюдений ближе всего к первой эпохе нашего мониторинга. Отождествление деталей нашего спектра проводилось по трем критериям: 1) совпадение или близкие значения лучевых скоростей деталей нашего мониторинга со скоростями деталей на картах; 2) по возможности близкие значения потоков; 3) совпадение вида круговой поляризации.

#### 4.3. Зеemanовские пары

Рассмотрим две детали,  $-16.20$  и  $-14.25$  км/с (см. рис. 1 и 2). Согласно Коэн и др. [15] эти

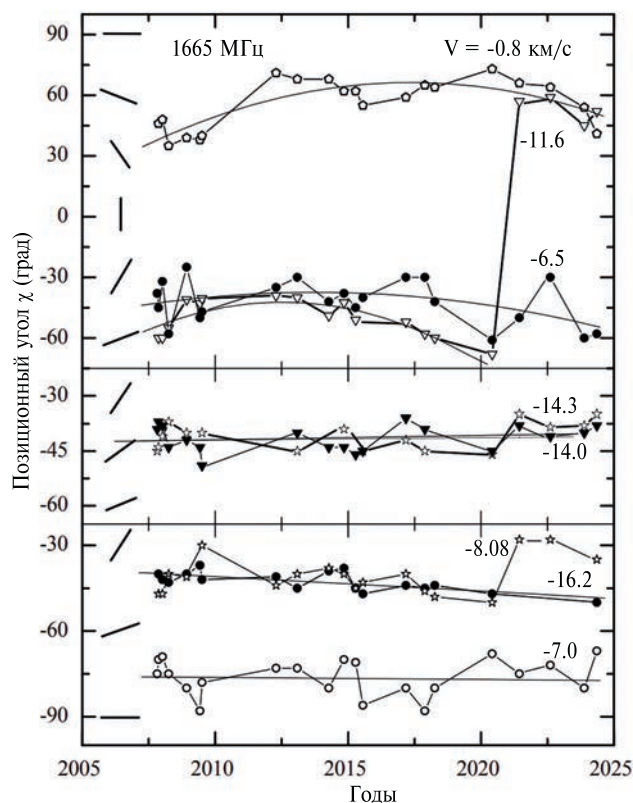


Рис. 7. Переменность позиционного угла  $\chi$  линейно поляризованного излучения основных деталей в Сер А в линии 1665 МГц. Указаны лучевые скорости деталей. Графики аппроксимированы полиномами второй степени и прямыми линиями.

детали имеют 100% левую и правую круговые поляризации и пространственно совпадают. Эти детали рассматриваются как зеемановская пара. Аналогичный результат получен в работах [20] по наблюдениям в 1991 г. и [19] по наблюдениям в 2001 г.

Наш мониторинг в Нансэ показал, что данные детали имеют очень высокую, но не всегда 100% круговую поляризацию. Обратим внимание на то, что наблюдается коррелированная переменность мазерного излучения обеих деталей. Причем, поток детали  $-14.25$  км/с отличается от потока детали  $-16.20$  км/с всего лишь в 1.5–2 раза. Это может быть дополнительным подтверждением того, что детали образуют зеемановскую пару. Расщепление и величина продольного магнитного поля составляют 1.95 км/с и 3.3 мГс соответственно. Поле направлено от наблюдателя. В спектре на скорости около  $-14.2$  км/с имеется другая левополяризованная деталь, которая часто преобладает над деталью с правой поляризацией. По этой причине нет возможности оценить угол

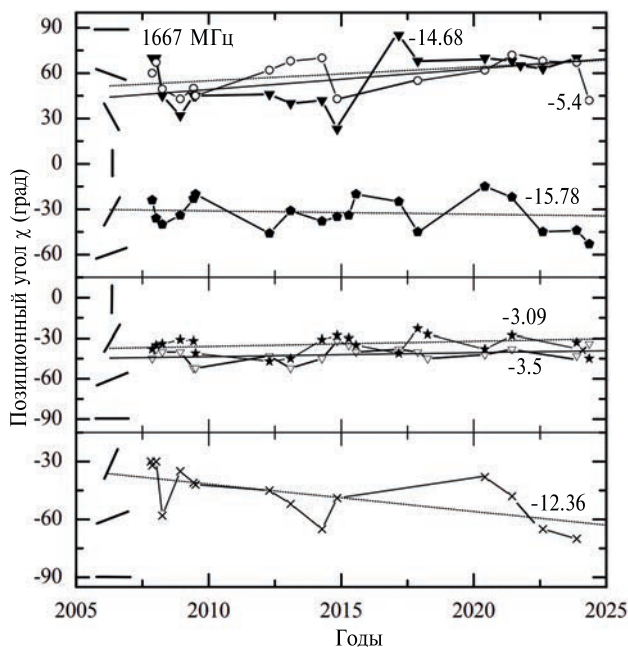
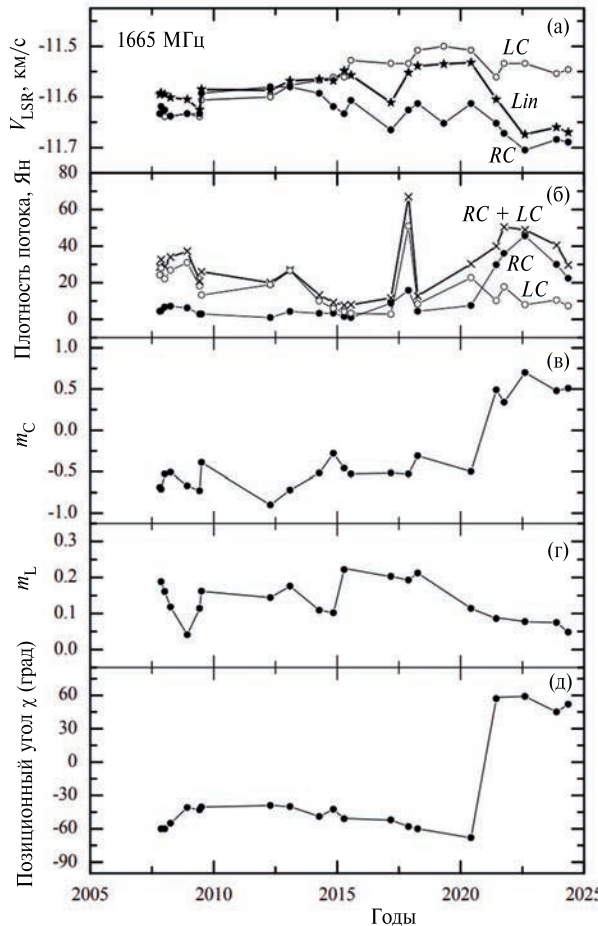


Рис. 8. То же, что на рис. 7, но в линии 1667 МГц.

$\chi$  детали  $-14.25$  км/с зеемановской пары  $-16.2L / -14.25R$  км/с. Здесь и далее после скорости мы вводим индексы  $L$  или  $R$ , чтобы показать вид круговой поляризации детали ( $R$ ,  $L$  – правая и левая круговые поляризации соответственно).

В линии 1667 МГц имеются две зеемановские пары:  $-15.76L / -14.2R$  км/с и  $-5.26R / -2.98L$  км/с (рис. 3 и 4). Расщепление равно 1.56 и 2.28 км/с, а величина продольного магнитного поля 4.40 и 6.43 мГс соответственно. В первой паре поле направлено от наблюдателя, а во второй к наблюдателю.

Как показали наблюдения с высоким пространственным разрешением, положения пар  $-16.2L / -14.25R$  км/с в линии 1665 МГц и  $-15.76L / -14.2R$  км/с в линии 1667 МГц пространственно совпадают, т. е. излучение исходит из одного и того же мазерного пятна. Такую структуру называют зеемановским квартетом. Барткевич и др. [16] обнаружили систематическое уменьшение зеемановского расщепления в течение 25 лет (1980–2005 гг.) и, следовательно, уменьшение величины продольного магнитного поля. Скорость уменьшения расщепления составила  $-0.0053 \pm 0.0006$  км/с в год для пары  $-16.2L / -14.25R$  (1665 МГц) и  $-0.0013 \pm 0.0007$  км/с в год для пары  $-15.76L / -14.2R$  км/с (1667 МГц).

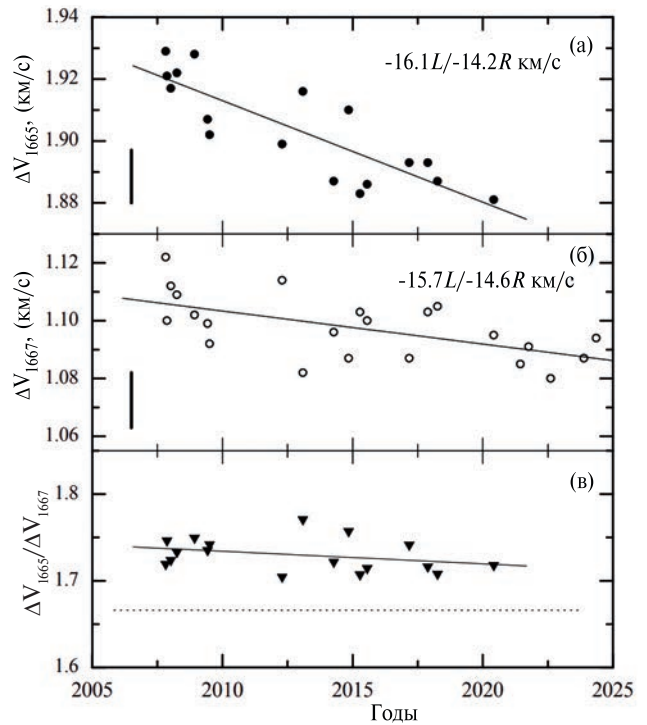


**Рис. 9.** Эволюция параметров мазерного излучения в линии ОН 1665 МГц в диапазоне лучевых скоростей от  $-12.5$  до  $-11.2$  км/с.

Наши исследования этого зеемановского квартета с 2007 по 2023 г. показали, что процесс систематического уменьшения продольного магнитного поля продолжается. На рис. 10 мы представили переменность характеристик квартета в таком же виде, что и в работе [16]. На панели (а) показана переменность расщепления для зеемановской пары  $-16.2L / -14.25R$  км/с в линии 1665 МГц, а на панели (б) для пары  $-15.76L / -14.2R$  км/с в линии 1667 МГц. Отношение величины расщепления представлено на панели (в). Графики аппроксимированы прямыми линиями.

По результатам 12-летнего мониторинга зеемановского квартета в Сер А мы получили, что изменение расщепления составляет  $-0.0050 \pm 0.0008$  км/с/год для 1665 МГц и  $-0.0012 \pm 0.0004$  км/с/год для 1667 МГц.

Графики на рис. 9, 10 являются хорошим продолжением графиков работы [16]. Таким



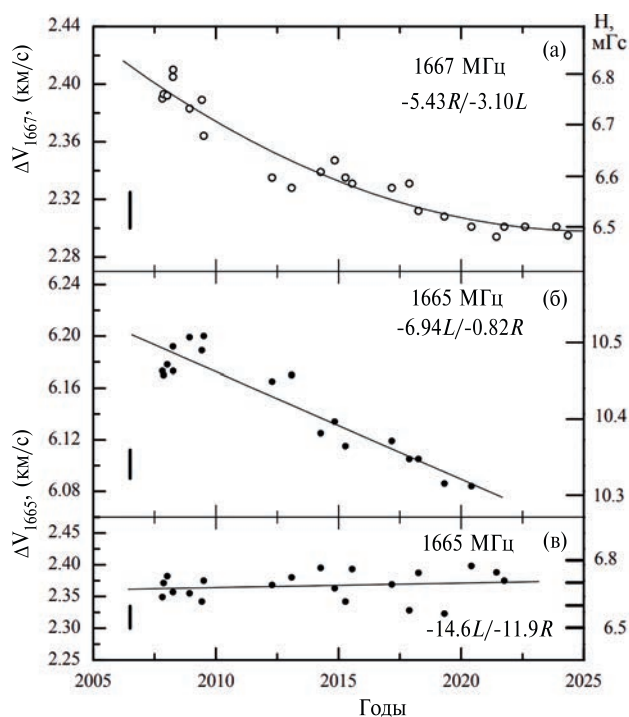
**Рис. 10.** Систематическое уменьшение расщепления в зеемановском квартете (см. текст) в линиях ОН 1665 (а) и 1667 МГц (б). Внизу слева отрезками прямых линий приведены максимальные ошибки измерений. На панели (в) дано отношение расщеплений. Все графики аппроксимированы прямыми линиями. Пунктирная линия на панели (в) соответствует теоретическому значению 1.67.

образом, в мазерном пятне наблюдается систематическое уменьшение продольного магнитного поля на протяжении более 40 лет, причем с одинаковым темпом.

Мы обнаружили, что расщепление зеемановской пары  $-5.26R / -2.98L$  км/с в линии 1667 МГц также систематически уменьшалось с 2.4 до 2.3 км/с (см. рис. 11). Изменения хорошо аппроксимируются полиномом второй степени. Таким образом, темп уменьшения расщепления замедлялся и затем принял нулевое значение. Продольное магнитное поле при этом падало с 6.8 до 6.5 мГс. Среднее уменьшение расщепления составило  $0.0067 \pm 0.0007$  км/с/год. Поле направлено к наблюдателю.

Измерения в линейной поляризации показали, что векторы поперечного магнитного поля деталей этой зеемановской пары взаимно перпендикулярны (рис. 12).

Согласно работе [16] мазерные детали  $-6.94L / -0.82R$  км/с в линии 1665 МГц также



**Рис. 11.** Систематическое уменьшение расщепления в зеемановской паре  $-5.43R / -3.10L$  км/с в линии ОН 1667 МГц (а) и  $-6.94L / -0.82R$  км/с в линии 1665 МГц. Графики аппроксимированы полиномом второй степени и прямыми линиями. Справа приведена шкала для продольного магнитного поля. Внизу слева отрезками прямых линий приведены максимальные ошибки измерений.

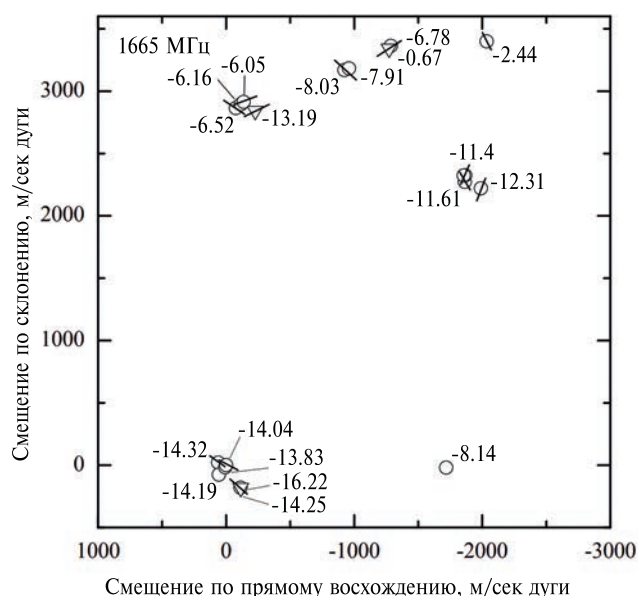
образуют зеемановскую пару. Фиш и др. [14] подтвердили этот результат. Магнитное поле равно 10.4 мГс. Поле направлено от наблюдателя. Результаты наших исследований приведены на рис. 11(б). Здесь мы также видим монотонное уменьшение расщепления.

Таким образом, во всех исследуемых мазерных пятнах в обеих главных линиях ОН наблюдается уменьшение расщепления и, следовательно, уменьшение продольного магнитного поля. Это происходит из-за расширения молекулярного газа, окружающего молодую звезду.

Для зеемановской пары  $-13.95L / -11.60R$  км/с мы не обнаружили изменения расщепления (см. рис. 11(в)). Тем не менее имеется тенденция одновременного уменьшения скорости обоих компонентов зеемановской пары.

#### 4.4. Крупномасштабное магнитное поле

Карты расположения наиболее сильных мазерных пятен в линиях 1665 и 1667 МГц



**Рис. 12.** Карта расположения мазерных пятен ОН в линии 1665 МГц в феврале 2001 г. согласно [19]. Указаны лучевые скорости деталей. Кружками нанесены мазерные пятна для правой круговой поляризации, а треугольниками для левой. Отрезками прямых линий нанесены векторы поперечного магнитного поля (настоящая работа).

представлены на рис. 12 и 13. Приведены лучевые скорости. Данные взяты из работы [19]. Отрезками прямых линий нанесены векторы поперечного магнитного поля, полученные в настоящей работе. Значения позиционных углов линейной поляризации  $\chi$  отдельных деталей были взяты как средние значения для временного интервала с октября 2007 г. по июль 2009 г., когда вариации угла  $\chi$  были минимальными. Соответствующие им векторы поперечного магнитного поля нанесены на рис. 12 и 13.

Как мы отмечали выше, вариации углов  $\chi$  были незначительными, что свидетельствует об отсутствии переменности общего для источника поперечного магнитного поля  $H_{\perp}$ . Кроме того, отметим значительный скачок направления поля в мазерном пятне  $-11.6$  км/с. Также имеются тенденции долговременных незначительных изменений  $\chi$  и, следовательно направления векторов  $H_{\perp}$ .

Согласно выводам работы [16] векторы  $\chi$  (электрические векторы ОН мазеров), наблюдаемые во внешних частях областей Н II, согласуются с ориентацией межзвездного магнитного поля, в то время как векторы, наблюдаемые в центрах областей Н II, параллельны радио



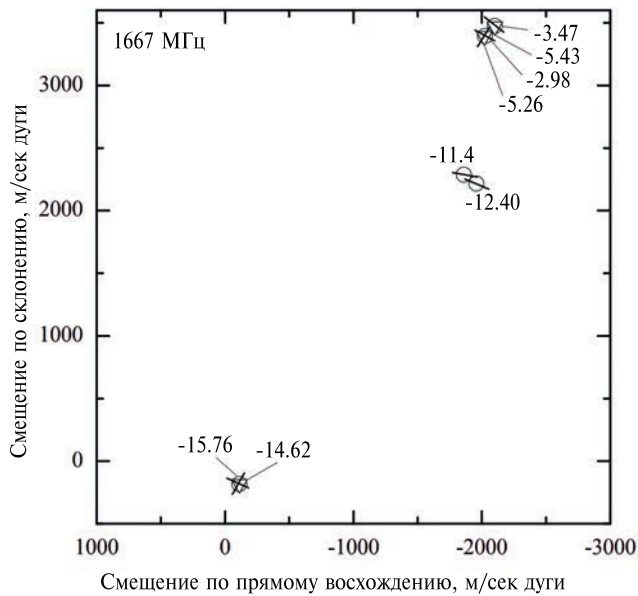


Рис. 13. То же, что на рис. 12, но для линии 1667 МГц.

джемат. Все наши измерения связаны с полями внутри областей Н II.

Полученные нами результаты хорошо вписываются в модель, в которой в восточной части области Сер А продольное магнитное поле направлено от наблюдателя, а в западной — к наблюдателю. Кроме того, согласно нашим наблюдениям, во всех исследуемых нами зеэмановских парах имеет место уменьшение расщепления и, следовательно, уменьшение величины продольного магнитного поля.

#### 4.5. Излучение в спутниковых линиях ОН

В некоторые эпохи мониторинга мы так же проводили наблюдения в спутниковых линиях 1612 и 1720 МГц. Некоторые спектры показаны на рис. 14. Спектр в линии 1612 МГц наблюдался в излучении, а в линии 1720 МГц в поглощении. Опубликованы некоторые работы по источникам с такими спектрами [13, 21, 22]. Однако не проводились исследования их эволюции. К сожалению, в нашем случае потоки в линиях 1612 и 1720 МГц в направлении Сер А оказались слабыми, на уровне шумовой дорожки, т. е. порядка 0.35–0.50 Ян. С 2021 г. потоки деталей в спектрах обеих линий сильно упали. Это обстоятельство не позволило нам проследить эволюцию излучения и поглощения в спутниковых линиях.

Излучение в линии 1612 МГц оказалось неполяризованным. Это следует из того, что все

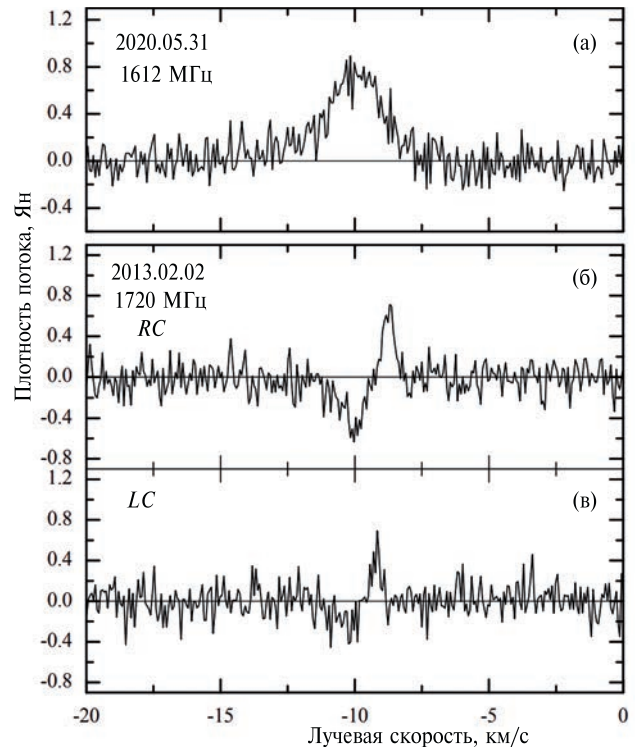


Рис. 14. Спектры в спутниковых линиях 1612 и 1720 МГц. В линии 1612 МГц излучение не поляризовано. Для повышения чувствительности спектр (панель (а)) получен усреднением наблюдений в четырех направлениях линейной поляризации. *Rc* и *Lc* — правая и левая круговые поляризации соответственно. Указаны эпохи наблюдений.

спектры в круговой и линейной поляризациях оказались одинаковыми. Вероятно они имеют тепловую природу. Было показано, что зеркальные профили спутниковых линий ОН 1612 и 1720 МГц могут указывать на накачку уровней соответствующих переходов ИК-излучением источника, погруженного в замагниченное молекулярное облако вокруг мазера.

Сравним с результатами других наблюдений. Коэн и др. [15] в 1983 г. также получили в линии 1612 МГц спектр в излучении, а в линии 1720 МГц спектр в поглощении. Причем линии были достаточно широкими.

Барткевич и др. [16] об этих линиях не упоминают. В линии 1720 МГц они наблюдали зеэмановскую пару на средней скорости  $-14.4$  км/с с расщеплением  $2.1$  км/с, которое соответствует продольному магнитному полю  $17.3$  мГс. Наши наблюдения не обнаружили эту пару, но обнаружили другую пару, причем их лучевые скорости в правой и левой круговых поляризациях не совпадают и располагаются они на правом

крыле линии поглощения  $-10$  км/с (см. рис. 14). Можно предположить, что имеется зеемановская пара  $-9.15L / -8.70R$  км/с с расщеплением  $0.45$  км/с. Величина продольного магнитного поля составляет  $3.7$  мГс. Поле направлено от наблюдателя.

Коррелированные уменьшения потоков в зеркальных профилях спутниковых линий ОН  $1612$  и  $1720$  МГц и потоков зеемановской пары могут быть связаны с изменением накачки уровней соответствующих переходов в ИК-источнике.

#### 4.6. Долговременная переменность мазерного излучения

Анализ мониторинга мазерного излучения ОН в направлении Сер А показал, что кроме вспышек излучения отдельных деталей наблюдается как минимум излучение основных деталей (2015–2017 гг.), так и его максимум (2021–2023 гг.). Конечно, это не так четко выражено, как для лазера  $H_2O$ . Детали ОН сосредоточены группами и ассоциируются с компактными источниками континуума. Аналогичная картина наблюдается с мазерными пятнами водяного пара. Различие в том, что мазерные пятна  $H_2O$  могут образовывать организованные структуры, например, в виде цепочек с градиентом лучевой скорости. В Сер А таких организованных структур мазеров ОН нет [16]. На рис. 15 приведены некоторые результаты мониторинга  $H_2O$  в направлении Сер А. Показаны суперпозиции спектров в разные годы. Напомним, что мониторинг мазеров  $H_2O$  проводится нами на радиотелескопе РТ-22 в ПРАО (Пушино). Рисунок демонстрирует сильную переменность излучения  $H_2O$  отдельных групп деталей. Очевидно, что возможную корреляцию следует искать между излучением мазеров в отдельных скоплениях. Наша последующая публикация будет посвящена исследованию переменности мазерного излучения  $H_2O$  и возможной корреляции излучения мазеров  $H_2O$  и ОН.

### 5. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Перечислим основные результаты, полученные в настоящей работе из поляризационных наблюдений (мониторинга) в линиях молекулы ОН на длине волны  $18$  см в Нансэ (Франция) области активного звездообразования G  $109.871+2.114$  (Сер А).

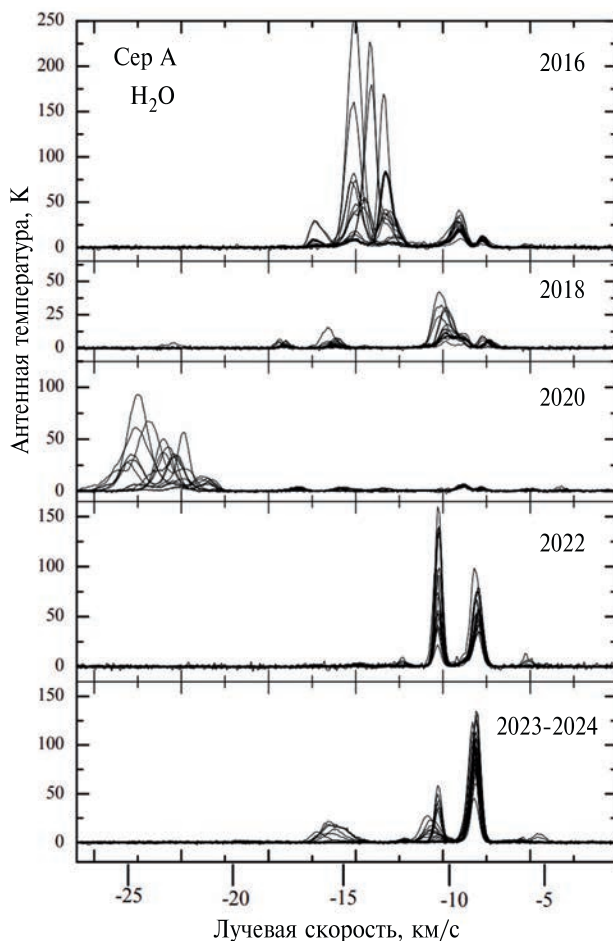


Рис. 15. Суперпозиции спектров  $H_2O$  в разные годы, полученных при проведении мониторинга на радиотелескопе РТ-22 в ПРАО (Пушино).

- Мазерное излучение ОН сильно переменное. Меняются структура спектра и плотность потока отдельных деталей. Однако, лучевые скорости большинства деталей менялись незначительно. Наблюдались кратковременные вспышки излучения отдельных деталей.
- Получено, что для большинства деталей имеется сильная круговая поляризация, достигающая  $100\%$ , но слабая линейная поляризация.
- В линии  $1667$  МГц обнаружена новая деталь на скорости  $-15.53$  км/с и кратковременная деталь на скорости  $1.58$  км/с с высокой круговой и низкой линейной поляризациями.
- Все детали нашего мониторинга отождествлены с мазерными пятнами на картах Коэн [15], Аргон [20] и Фиш [19].
- Измерена величина монотонного уменьшения расщепления и, следовательно, продоль-

ного магнитного поля трех зеемановских пар ( $-16.2L / -14.25R$  и  $-6.94L / -0.82R$  км/с в линии 1665 МГц и  $-15.76L / -14.2R$  км/с в линии 1667 МГц). Для пары  $-13.95L / -11.60R$  км/с в линии 1665 МГц изменение расщепления не обнаружено.

- Коррелированные уменьшения потоков в зеркальных профилях сателлитных линий ОН 1612 и 1720 МГц и потоков зеемановской пары  $-9.15L / -8.70R$  км/с могут быть связаны с изменением накачки уровней соответствующих переходов в ИК-источнике.
- Вычислена величина позиционного угла  $\chi$  для линейно поляризованного излучения большинства спектральных деталей в обеих главных линиях 1665 и 1667 МГц.
- Магнитное поле в областях Н II ориентировано либо вдоль внешнего магнитного поля, либо вдоль радио джетов.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Радиоастрономической обсерватории в Нансэ (Франция) за большую помощь в проведении наблюдений по программе многолетнего мониторинга источников мазерного излучения ОН на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция). Авторы также благодарны сотрудникам радиоастрономической обсерватории в Пушино за помощь в проведении наблюдений (мониторинг) в линии 1.35 см на радиотелескопе РТ-22.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *V. A. Hughes, and J. G. A. Wouterloot*, **276**, 204 (1984).
2. *V. A. Hughes*, **333**, 788 (1988).
3. *S. Curiel, M. A. Trinidad, J. Canto, L. F. Rodriguez, et al.*, **564**(1), L35 (2002).
4. *S. Dzib, L. Loinard, L. F. Rodriguez, A. J. Mioduszewski, and R. M. Torres*, **733**(1), id. 71 (2011).
5. *L. Moscadelli, M. J. Reid, K. M. Menten, A. Brunthaler, X. W. Zheng, and Y. Xu*, **693**(1), 406 (2009).
6. *V. A. Hughes, R. J. Cohen, and S. Garrington*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **272**(2), 469 (1995).
7. *L. F. Rodriguez, G. Garay, S. Curiel, S. Ramirez, J. M. Torrelles, Y. Gómez, and A. Velázquez*, *Astrophys. J. Letters* **430**, L65 (1994).
8. *V. A. Hughes*, **563**(2), 919 (2001).
9. *L. F. Rodriguez, J. M. Torrelles, G. Anglada, and J. Martí*, *Revista Mexicana Astron. Astrof.* **37**, 95 (2001).
10. *J. M. Torrelles, J. F. Gómez, L. F. Rodríguez, S. Curiel, P. T. P. Ho, and G. Garay*, *Astrophys. J. Letters* **457**, L107 (1996).
11. *J. M. Torrelles, N. A. Patel, J. F. Gómez, and P. T. P. Ho, et al.*, **560**(2), 853 (2001).
12. *J. M. Torrelles, J. F. Gómez, G. Garay, L. F. Rodriguez, S. Curiel, R. J. Cohen, and P. T. P. Ho*, **509**(1), 262 (1998).
13. *М. И. Пащенко, Г. М. Рудницкий, О. Франкелен*, *Письма в Астрон. журн.* **5**, 276 (1979).
14. *V. L. Fish and M. J. Reid*, *Astrophys. J. Suppl.* **164**(1), 99 (2006).
15. *R. J. Cohen, P. R. Rowland, and M. M. Blair*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **210**, 425 (1984).
16. *A. Bartkiewicz, M. Szymczak, R. J. Cohen, and A. M. S. Richards*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **361**(2), 623 (2005).
17. *В. И. Слыш, М. И. Пащенко, Г. М. Рудницкий, В. М. Витрищак, П. Колом*, *Астрон. журн.* **87**(7), 655 (2010).
18. *Н. Т. Ашимбаева, Е. Е. Лехт, М. И. Пащенко, В. В. Краснов, А. М. Толмачев*, *Астрон. журн.* **99**, 628 (2022).
19. *V. L. Fish, M. J. Reid, A. L. Argon, and X.-W. Zheng*, *Astrophys. J. Suppl.* **160**(1), 220 (2005).
20. *A. L. Argon, M. J. Reid and K. M. Menten*, *Astrophys. J. Suppl.* **129**(1), 159 (2000).
21. *R. F. Haynes and J. L. Caswell*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **178**, 219 (1977).
22. *Н. Т. Ашимбаева, Е. Е. Лехт, В. В. Краснов, А. М. Толмачев*, *Астрон. журн.* **100**, 593 (2023).

## STUDY OF MASER EMISSION IN 18 CM LINES IN THE STAR FORMATION REGION G 109.871+2.114 (CEP A)

**E. E. Lekht<sup>a, \*</sup>, N. T. Ashimbaeva<sup>a</sup>, V. V. Krasnov<sup>b</sup>, V. R. Shoutenkov<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>*Lomonosov Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Astrospace Center of the P. N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>c</sup>*Pushchino Radio Astronomy Observatory, Astrospace Center of the P. N. Lebedev Physical Institute,  
Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia*

*\*E-mail: eelekht@mail.ru*

The results of the study of the star formation region G 109.871+2.114 (Cep A) in OH lines by 18 cm are presented. Polarization observations (monitoring) were performed on a large radio telescope in Nançay (France) in 2007–2024. OH maser emission is highly variable. The structure of the spectrum and the flux density of the individual features are changing. However, the radial velocities of most features changed slightly. Short-term flares of emission ion from individual features were observed. Many features have strong circular polarization, reaching 100%, but weak linear polarization. A new features at  $-15.53$  km/s and a short-term part at  $1.58$  km/s with high circular and low linear polarizations were detected in the 1667 MHz line. The spectral features of our monitoring were spatially identified with the maser spots on the Cohen, Argon and Fish maps. The magnitude of the monotonic decrease in splitting, and, consequently, the longitudinal magnetic field of three Zeeman pairs ( $-16.2L / -14.25R$  km/s and  $-6.94L / -0.82R$  in the 1665 MHz line and  $-15.76L / -14.2R$  in the 1667 MHz line). For the  $-13.95L / -11.60R$  pair no splitting change was detected in the 1665 MHz line. Broadband absorption and emission are observed in the satellite lines of 1612 and 1720 MHz, respectively. A Zeeman pair was also detected in the 1720 MHz line. The value of the positional angle  $\chi$  is calculated for linearly polarized emission of most spectral details in both main lines of 1665 and 1667 MHz. It is shown that the magnetic field in the H II regions is oriented either along the external magnetic field or along the radio jets.

*Keywords:* star formation, H<sub>2</sub>O and OH masers, molecular clouds and bipolar outflows, magnetic field, individual objects: G 109.871+2.114 (Cep A)