

УДК 520.27/88-13:523.9

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ СОЛНЦА НА РАТАН-600 В РЕЖИМЕ “ЮЖНЫЙ СЕКТОР С ПЛОСКИМ ОТРАЖАТЕЛЕМ”

© 2012 Л. В. Опейкина¹, Е.К. Майорова¹, А.Н. Коржавин²

¹Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Санкт-Петербургский филиал САО РАН, Пулковое, 196140 Россия

Поступила в редакцию 24 февраля 2011 г.; принята в печать 4 апреля 2011 г.

Приведены результаты численного моделирования инструментального сигнала в канале круговой поляризации V при наблюдениях на радиотелескопе РАТАН-600 в режиме “Южный сектор с плоским отражателем”. Для моделирования использован уточненный алгоритм расчета диаграммы направленности, учитывающий дифракцию в пространстве между зеркалами телескопа. Расчеты проведены в широком диапазоне длин волн при сфокусированной антенне и при наличии аббераций. Рассмотрены структура и характеристики элемента матрицы Мюллера M_{41} и паразитного сигнала от солнечного диска при различных вариантах облучения антенны. Оценены различия диаграмм направленности телескопа по правой и левой круговым поляризациям. Приведены расчеты элементов M_{11} , M_{41} для случая приема правой и левой круговых поляризаций в разных точках фокальной оси вторичного зеркала, проанализированы их изменения в зависимости от ряда параметров, в частности, от величины сдвига, корректирующего смещение сканов.

Ключевые слова: *методы: наблюдательные: радио астрономия*

1. ВВЕДЕНИЕ

Повышение точности поляризационных наблюдений Солнца на РАТАН-600 требует знания инструментальных эффектов, искажающих круговую поляризацию источников. Искажения могут возникать как в антенной системе, так и в приемном тракте радиометра. В данной работе мы рассмотрим искажения, обусловленные антенной системой. Для обозначения искажений будем использовать термины “паразитная поляризация”, “поляризационные эффекты”, “инструментальная поляризация” и т.п.

Поляризационные характеристики антенн переменного профиля (АПП), к которым относится РАТАН-600 [1], изучались в большом числе работ, начиная со времени создания Большого Пулковского Радиотелескопа (БПР) [2]. Для варианта наблюдений одним сектором кругового отражателя было показано, что при наблюдениях неполяризованного источника возникает значительный инструментальный сигнал круговой поляризации, а искажения линейной поляризации невелики [3–6]. Величина инструментальной круговой поляризации уменьшается с уменьшением высоты наблюдаемого источника h , при $h = 0$ она полностью определяется конструктивными особенностями вторич-

ного зеркала телескопа и составляет порядка 2% от максимума интенсивности.

В 60–70-е годы инструментальная круговая поляризация активно изучалась при наблюдениях Солнца на БПР, где оно наблюдается на высотах, существенно отличных от нуля. Разрабатывались различные методы коррекции паразитного сигнала, как расчетные [7–9], так и с использованием специальных приспособлений [10]. На РАТАН-600 Солнце наблюдается в режиме “Южный сектор с плоским отражателем” (ЮП) [11]. В этом случае высота установки главного зеркала равна нулю независимо от высоты источника и паразитный сигнал мал. Хотя теоретические оценки инструментальной круговой поляризации и вопросы коррекции экспериментальных данных для режима ЮП рассматривались в ряде работ [12–15], однако малость паразитного сигнала позволяла пренебречь им, и развитие методов, направленных на анализ и устранение инструментальной поляризации при наблюдениях Солнца, несколько приостановилось. Совершенствование методов наблюдений и повышение требований к точности обработки данных заставляет вернуться к более детальному изучению поляризационных эффектов.

Удобным способом описания воздействия антенны на входное излучение является матрица

Мюллера, связывающая параметры Стокса на входе и выходе радиотелескопа [16]. Каждый диагональный элемент матрицы описывает вклад одного из параметров Стокса в соответствующий выходной параметр Стокса. В частности, элемент M_{11} определяет вклад полной интенсивности источника I в наблюдаемую интенсивность и совпадает с диаграммой направленности (ДН) по мощности для неполяризованного источника. Недиагональные элементы определяют паразитные составляющие выходного излучения. Например, элемент M_{14} определяет вклад в выходную интенсивность от поляризованной по кругу составляющей входного излучения, а элемент M_{41} описывает паразитный сигнал в канале V от интенсивности источника. В работах [6, 12, 17] было показано, что для антенн типа АПП в случае использования первичных облучателей с одинаковыми ДН в E - и H -плоскостях выполняются следующие равенства для элементов матрицы Мюллера:

$$\begin{aligned} M_{11} &= M_{44}, \\ M_{14} &= M_{41}. \end{aligned} \quad (1)$$

Все остальные недиагональные элементы в этом случае равны нулю за исключением элементов M_{23}, M_{32} , характеризующих переход друг в друга параметров Стокса Q и U .

При анализе наблюдений Солнца вместо параметров Стокса I, V могут рассматриваться право- (R) и левополяризованная (L) составляющие излучения. Если на входе антенны параметры Стокса $Q_0 = U_0 = 0$, и выполняются равенства (1), то, как показано в работах [6, 7, 12], можно записать:

$$\begin{aligned} I_R &= M_R \star I_R^0, \\ I_L &= M_L \star I_L^0, \end{aligned} \quad (2)$$

где знак \star обозначает антенное сглаживание, а I_R^0, I_L^0, I_R, I_L — интенсивности право- и левополяризованного излучения на входе и на выходе антенны соответственно. Функции M_R, M_L представляют собой диаграммы направленности для R и L -излучения. При этом M_R, M_L простым образом связаны с M_{11}, M_{41} :

$$\begin{aligned} M_R &= M_{11} + M_{41}, \\ M_L &= M_{11} - M_{41}. \end{aligned} \quad (3)$$

В общем случае связь между I_R^0, I_L^0, I_R, I_L и элементами матрицы Мюллера более сложная. Например, если не выполняются соотношения (1), то в каждую из выходных интенсивностей I_R, I_L будут давать вклад обе входные составляющие I_R^0, I_L^0 .

Расчет и анализ M_{41} при работе РАТАН-600 одним сектором и в режиме ЮП проводился ранее в работах [6, 7, 12, 13, 18, 19]. В частности, было

показано, что основное инструментальное искажение круговой поляризации обусловлено смещением относительно друг друга диаграмм M_R, M_L , практически одинаковых по форме. Установлено, что величина смещения падает при уменьшении высоты установки антенны. Однако подробное исследование элемента M_{41} , с учетом двумерности этой функции, для режима ЮП проведено только недавно в работе [20]. Расчеты, приведенные в этой работе, выполнены с помощью алгоритма, разработанного в [19, 21]. Этот алгоритм сходен с алгоритмами, применявшимися в прежних работах (например, [6, 7, 12]), но в отличие от них в нем учтена дифракция в пространстве между зеркалами антенны. Учет дифракционных эффектов позволил выявить ряд новых особенностей ДН телескопа, таких как зависимость формы и амплитуды элементов матрицы Мюллера M_{11}, M_{41}, M_{32} от длины волны, смещение максимумов элементов в сторону меньших высот, уменьшение вертикального размера лепестков на длинных волнах и др. [20, 21].

В данной работе мы продолжаем исследование инструментальной поляризации в режиме ЮП, используя алгоритм [19, 21]. В разделе 2 приведены результаты моделирования паразитного сигнала в канале круговой поляризации V при наблюдении неполяризованного солнечного диска. Это важно, в частности, для исследования поляризации источников, наблюдающихся на лимбе, так как паразитный сигнал концентрируется к краям Солнца. Для объяснения расхождения между модельными и наблюдаемыми сканами рассчитана паразитная поляризация при разных вариантах облучения антенны. В разделе 3 рассматриваются характеристики диаграмм M_R, M_L , что представляет интерес как для обработки сканов R и L излучения, так и для объяснения структуры соответствующих элементов M_{41} . В разделе 4 приведены расчеты паразитного сигнала с учетом особенностей серии приемных комплексов для наблюдений Солнца [22, 23], в которых R и L -излучение принималось в разных точках фокальной оси вторичного зеркала (далее для краткости будем называть эту ось фокальной линией). Следует отметить, что в прежних работах все эти вопросы рассматривались либо качественно, без соответствующих расчетов, либо не рассматривались совсем.

2. ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ СОЛНЕЧНОГО ДИСКА

Если параметры Стокса Q_0 и U_0 равны нулю, то сигнал в канале V запишется следующим образом [5, 7]:

$$V = I_0 \star M_{41} + V_0 \star M_{44}, \quad (4)$$

где I_0, V_0 — параметры Стокса на входе антенны. Первое слагаемое представляет собой паразитный

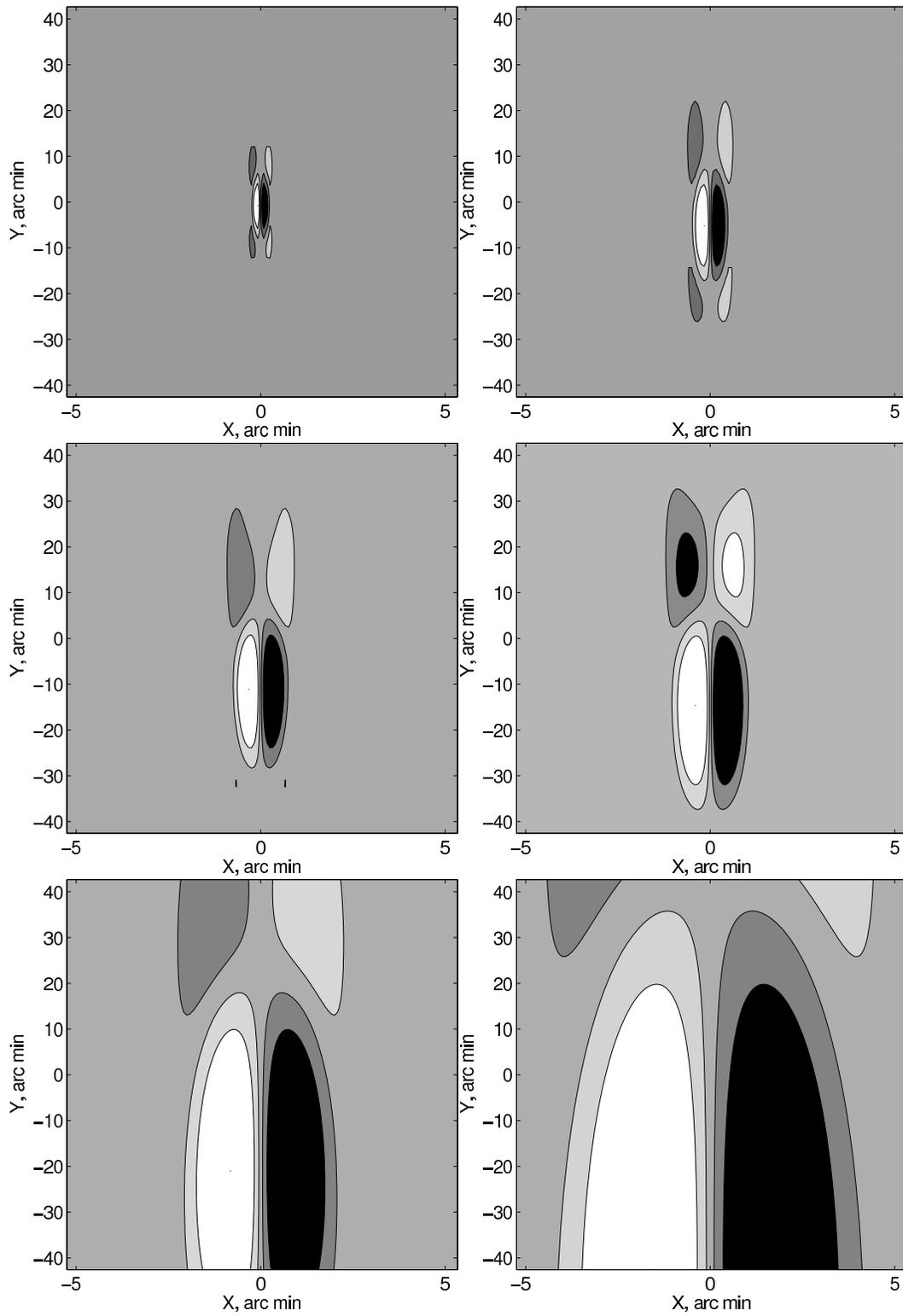


Рис. 1. M_{41} при стандартной установке антенны (установка А) на волнах 2, 4, 6, 8, 16, 32 см. Длина волны меняется слева направо и сверху вниз. Светлые области соответствуют положительным значениям M_{41} , темные — отрицательным. Изолинии проведены на уровнях ± 0.01 , ± 0.003 .

сигнал. Рассмотрим этот сигнал при наблюдениях протяженного источника, подобного солнечному диску. Расчеты будем проводить в пределах основного рабочего диапазона РАТАН-600 2–32 см. За исключением случаев, где это оговаривается особо, расчеты M_{41} сделаны для стандартной установки антенны с максимально возможным для $h = 0$ числом элементов антенны (щитов) в раскрыве главного зеркала (установка А). Плоский отражатель установлен на высоту $h_p = 50^\circ$. Угол наклона первичного облучателя к горизонту равен 50° . Диаграмма направленности первичного облучателя по полю близка к гауссиане шириной 100° на уровне 0.3 от максимума. Вид и характеристики M_{41} для установки А подробно описаны в работе [20]. На Рис.1 показан элемент M_{41} на волнах 2, 4, 6, 8, 16 и 32 см в пределах области $\sim 10' \times 80'$. Величина M_{41} нормирована на максимум M_{11} . При вычислениях паразитного сигнала размеры кадров M_{41} брались достаточно большими, чтобы не вносить существенных искажений в сглаженное изображение. В качестве модели солнечного диска взят диск равномерной яркости радиусом $16'$.

Мы будем рассматривать двумерные изображения паразитного сигнала и их одномерные сечения — сканы, которые являются результатом стандартных пассажных наблюдений на РАТАН-600. Систему координат выбираем так, что ось X совпадает с направлением движения источника по небу, а центр — с центром источника. В этом случае сканы — это горизонтальные сечения изображений с координатой $Y = const$, зависящей от того, на какую точку источника наведена ДН. Обычно диаграмма наводится на центр источника, и наблюдаются центральные сканы с $Y = 0$. Однако в некоторых случаях диаграмма может быть намеренно смещена относительно центра. Например, при наблюдениях Солнца можно наводиться на отдельные активные области, полярные области и т.п.

Результаты сглаживания диска диаграммой M_{41} на различных длинах волн приведены на Рис. 2. Светлые области соответствуют паразитному сигналу правой поляризации (положительные значения функций), темные — левой (отрицательные значения). Изображения нормированы на максимум изображения в канале интенсивности. Изолинии проведены на уровнях $\pm 0.008, \pm 0.005, \pm 0.002, \pm 0.001, \pm 0.0001$. Можно видеть, что любое одномерное сечение, параллельное оси X , является нечетной функцией, и на противоположных краях сечения поляризация имеет разный знак. Это объясняется свойствами симметрии M_{41} для АПП [17, с.32], которые заключаются в том, что вертикальные сечения M_{41} являются четными функциями, а горизонтальные — нечетными:

$$M_{41}(X, Y_c) = -M_{41}(-X, Y_c),$$

$$M_{41}(X_c, Y) = M_{41}(X_c, -Y), \quad (5)$$

где X_c, Y_c фиксированные координаты. Эти свойства M_{41} сохраняются и в изображении паразитной поляризации при наблюдении диска. Однако, как показано в [20], симметрия M_{41} относительно оси X имеется только на коротких волнах. На $\lambda \geq 4$ см из-за дифракционных эффектов она нарушается, и основные лепестки M_{41} смещаются от центра в сторону отрицательных Y . При этом максимум на изображениях паразитного сигнала смещается в область положительных Y .

Аберрации M_{41} , возникающие при продольных и поперечных выносах первичного облучателя из фокуса, рассмотрены в [20]. На Рис. 3, 4 показаны изображения диска в канале V при наблюдениях с аберрациями. При поперечных выносах элемент M_{41} теряет симметрию относительно оси Y , и паразитные изображения также становятся несимметричными относительно этой оси. При продольных выносах M_{41} приобретает “квадрупольную” структуру, но сохраняет нечетную симметрию относительно Y . Поэтому при продольных выносах все горизонтальные сечения паразитных изображений остаются нечетными функциями с разным знаком поляризации на краях. В целом, характер аберраций сохраняется с изменением величины выноса из фокуса, поэтому мы приводим изображения при больших выносах, где аберрационные изменения хорошо заметны.

Из Рис. 2–4 видно, что форма и величина паразитной поляризации на скане зависят от координаты Y , на которую наводится диаграмма. На Рис. 5 показаны центральные сканы паразитного сигнала для сфокусированной установки (а), при поперечном выносе из фокуса на 6λ (с) и при продольном выносе на 1λ (е). Для тех же случаев на рисунках (b), (d), (f) приведена зависимость от λ максимума паразитной поляризации в пределах всего изображения (кривая 1) и на центральном скане (кривая 2). Величина паразитной поляризации составляет доли процента от уровня сигнала в интенсивности, что в несколько раз меньше паразитной поляризации при наблюдениях точечного источника. Это объясняется тем, что протяженный источник одновременно охватывает и сглаживает области разного знака функции M_{41} . Максимум паразитного сигнала на центральном скане, как правило, меньше, чем в пределах всего кадра, и составляет порядка 0.2–0.4% во всех трех случаях. В пределах всего кадра при поперечном выносе паразитный сигнал немного падает по сравнению со сфокусированным случаем, а при продольном, на коротких волнах, оказывается в несколько раз выше. Изменение максимума сигнала с длиной волны немонотонно. Например, при наблюдениях в фокусе в диапазоне 6–8 см паразитный сигнал на

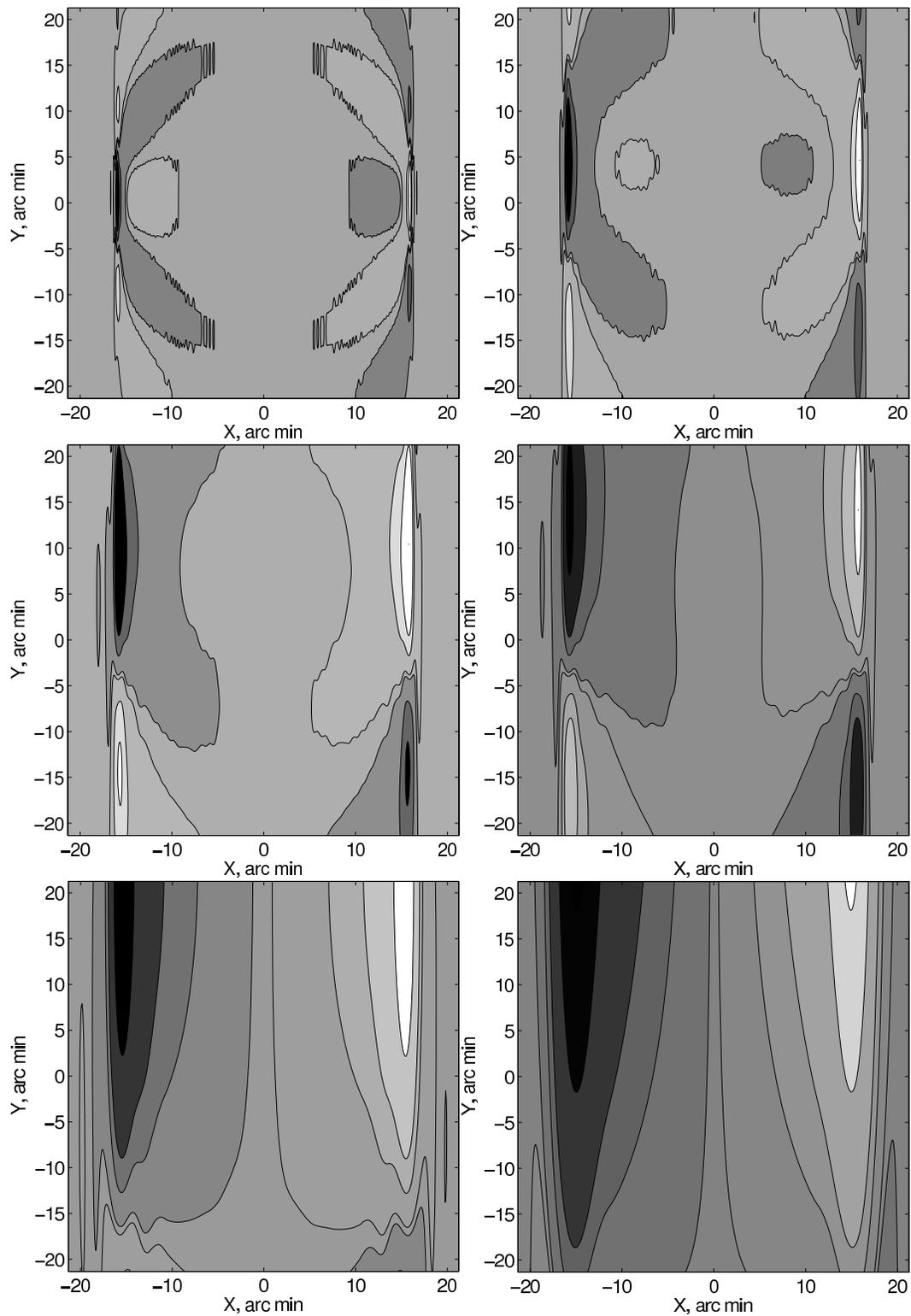


Рис. 2. Изображения паразитного сигнала в канале V при наблюдении неполяризованного диска на $\lambda = 2, 4, 6, 8, 16, 32$ см (установка А). Длина волны меняется также, как на Рис.1. Изолинии проведены на уровнях $\pm 0.008, \pm 0.005, \pm 0.002, \pm 0.001, \pm 0.0001$.

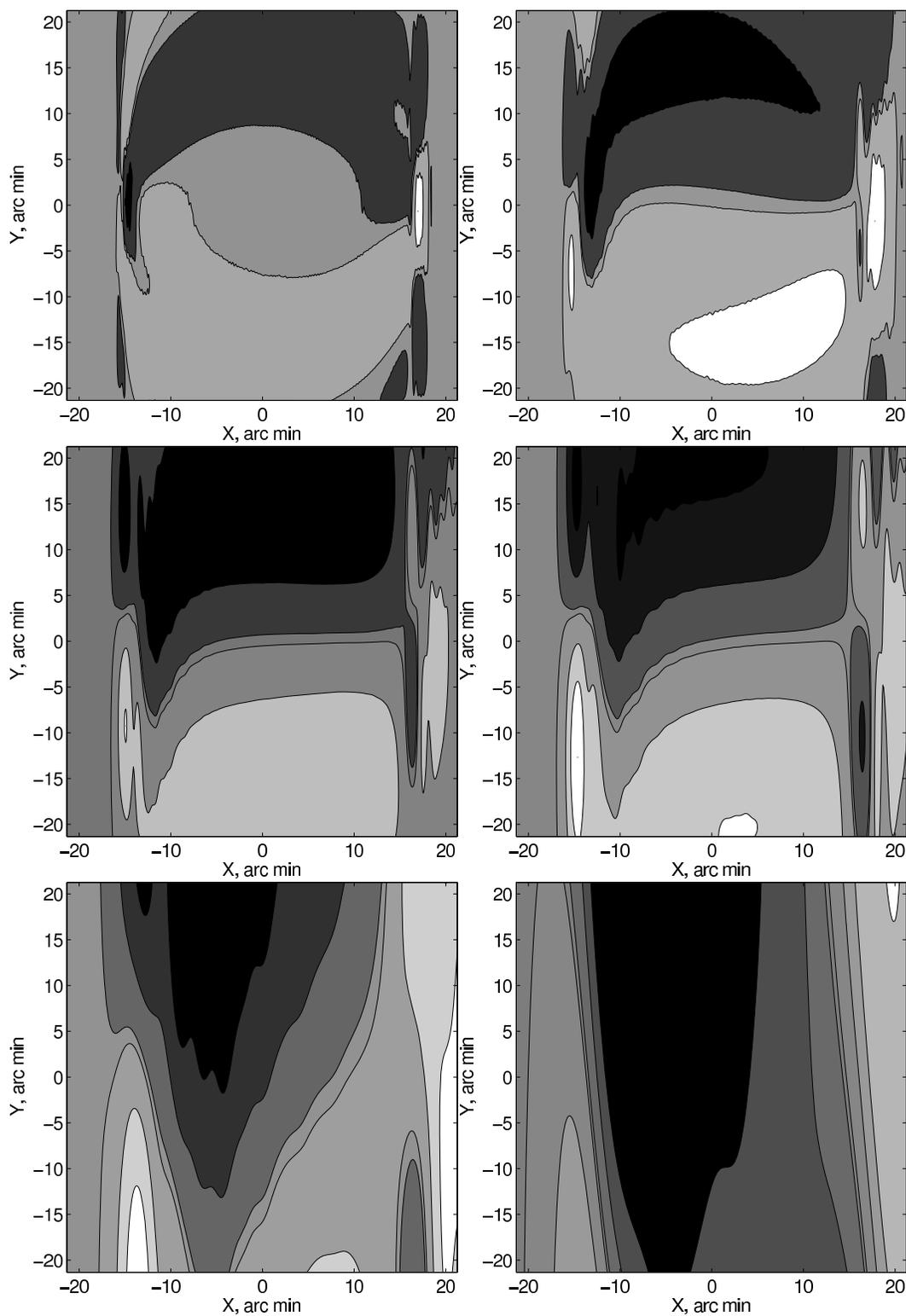


Рис. 3. Изображения паразитного сигнала в канале V от неполяризованного диска при поперечном выносе из фокуса на 6λ . Параметры установки, длины волн и уровни изолиний такие же, как на Рис. 2.

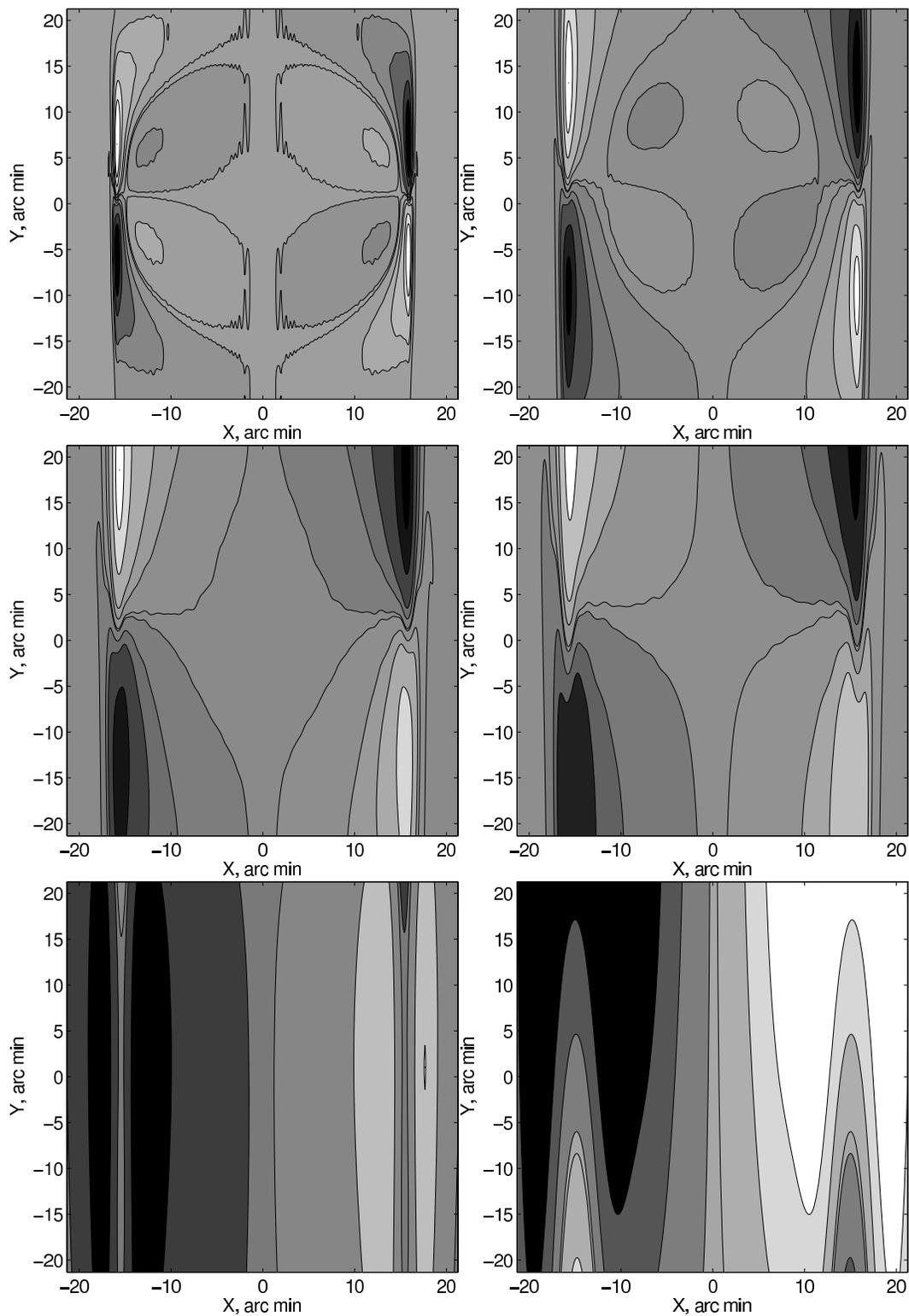


Рис. 4. Изображения паразитного сигнала в канале V от неполяризованного диска при продольном выносе из фокуса на 1λ . Параметры установки, длины волн и уровни изолиний такие же, как на Рис. 2.

центрального скане заметно меньше, чем на более коротких и более длинных волнах.

Форма сканов паразитного сигнала как в пределах одного изображения, так и на различных изображениях, весьма разнообразна. Например, при небольших поперечных выносах из фокуса наблюдается “биполярная” структура на краях скана, при продольных выносах появляются двойные максимумы. Однако среди рассмотренных сканов нет сканов подобных наблюдаемым, примеры которых приведены на Рис. 6 вверху (см. также [24]). Наблюдаемые сканы имеют симметричный вид с одинаковым знаком поляризации на краях. Такие сканы могут формироваться, например, в том случае, когда диаграммы M_R , M_L смещены относительно друг друга по Y . В работе [12] предполагается, что необходимое смещение диаграмм может быть получено при несимметричном относительно фокальной оси телескопа облучении антенны.

При наблюдениях с поперечными выносами из фокуса возникает несимметрия облучения. Однако в случае небольших выносов ($\lesssim 2\lambda$) большинство сканов имеет различный знак поляризации на краях. При выносе на 6λ и $Y \neq 0$ могут формироваться сканы с преобладанием на краях поляризации одного знака, но форма таких сканов заметно несимметрична и быстро меняется при изменении Y . В частности, на сканах может появиться значительное повышение сигнала в центре. Примеры таких сканов приведены на Рис. 6 внизу. В целом, поперечным выносом из фокуса нельзя объяснить наблюдаемую форму сканов.

Рассмотрим модели паразитного сигнала для вариантов установки антенны с созданием несимметрии облучения за счет исключения из работы части элементов главного зеркала. Предельным случаем несимметричного облучения является установка антенны, в которой работает только одна половина главного зеркала. Обозначим этот вариант установки буквой В. На Рис. 7 приведен элемент M_{41} для этой установки в диапазоне длин волн 2–48 см. Размеры кадра, на котором представлен элемент, увеличиваются пропорционально длине волны. Такое представление позволяет проследить изменения в структуре M_{41} в зависимости от λ , связанные с дифракционными эффектами (вид диаграмм, рассчитанных в геометрическом приближении, в этом случае был бы одинаков). Видно, что структура M_{41} для установок А и В различается. В случае А основные лепестки M_{41} разного знака смещены относительно друг друга по горизонтали во всем диапазоне длин волн (см. Рис. 1 и [20]). При установке В на коротких волнах лепестки смещены по вертикали. Из-за дифракционных эффектов структура M_{41} с длиной волны меняется, и на $\lambda \gtrsim 16$ см смещение лепестков приближается

к горизонтальному. Следует также заметить, что в случае В из-за нарушения симметрии облучения антенны элементы M_{41} теряют свойства, выраженные соотношениями (5).

На Рис. 8 показан элемент M_{41} для установки, в которой с одного края антенны не работает 1/4 часть щитов (установка С). Несимметрия облучения при этом меньше, чем в случае установки В. Видно, что на коротких волнах лепестки M_{41} разных знаков также смещены друг относительно друга по вертикали. Но переход от вертикального смещения лепестков к горизонтальному начинается на более коротких волнах, чем для установки В.

На Рис. 9 приведены некоторые характеристики M_{41} для установок А, В и С (кривые 1, 2, 3 соответственно). Показаны максимальная амплитуда лепестков разного знака (а) и величина смещения лепестков относительно друг друга по Y в зависимости от λ (б). На коротких волнах амплитуда M_{41} для установки В составляет 7–9% от максимума M_{11} , что в несколько раз выше, чем для симметричной установки А (2–3%). Для установки С амплитуда лепестков примерно такая же, как и для установки с симметричным облучением. В случае А амплитуда лепестков разного знака одинакова, в случаях В и С это равенство нарушается. Наибольшее расстояние между максимумами лепестков по координате Y для установки В наблюдается на $\lambda = 12$ см, а для установки С — на $\lambda = 8$ см. На более длинных волнах это расстояние уменьшается, а на $\lambda = 48$ см (В) и $\lambda = 32$ см (С) меняет знак.

Результаты сглаживания диска диаграммой M_{41} для установки В показаны на Рис. 10. Изоляции проведены на уровнях ± 0.04 , ± 0.02 , ± 0.008 , ± 0.005 , ± 0.001 . Видно, что изображения инструментальной поляризации для установок А и В существенно различаются. При установке В на коротких волнах в каждой из полуплоскостей $Y > 0$ и $Y < 0$ преобладает поляризация одного знака, поэтому на сканах, смещенных от центрального по Y , знак паразитной поляризации меняться не будет. На центральных сканах, которые показаны на Рис. 11(а), знаки поляризации на краях сканов различаются. С ростом длины волны симметрия изображений паразитного сигнала относительно оси X нарушается, а “центральная область”, с поляризацией разного знака на краях сканов, распространяется на весь кадр.

В изображениях инструментального сигнала для установки В присутствуют сканы с возрастанием поляризации одного знака к краям, подобные наблюдаемым. Они формируются при небольшом смещении по Y от центра. На Рис. 11(б) показан такой скан, смещенный на $2'$ в сторону меньших высот. При дальнейшем увеличении Y форма сканов меняется, возрастает сигнал в центре скана.

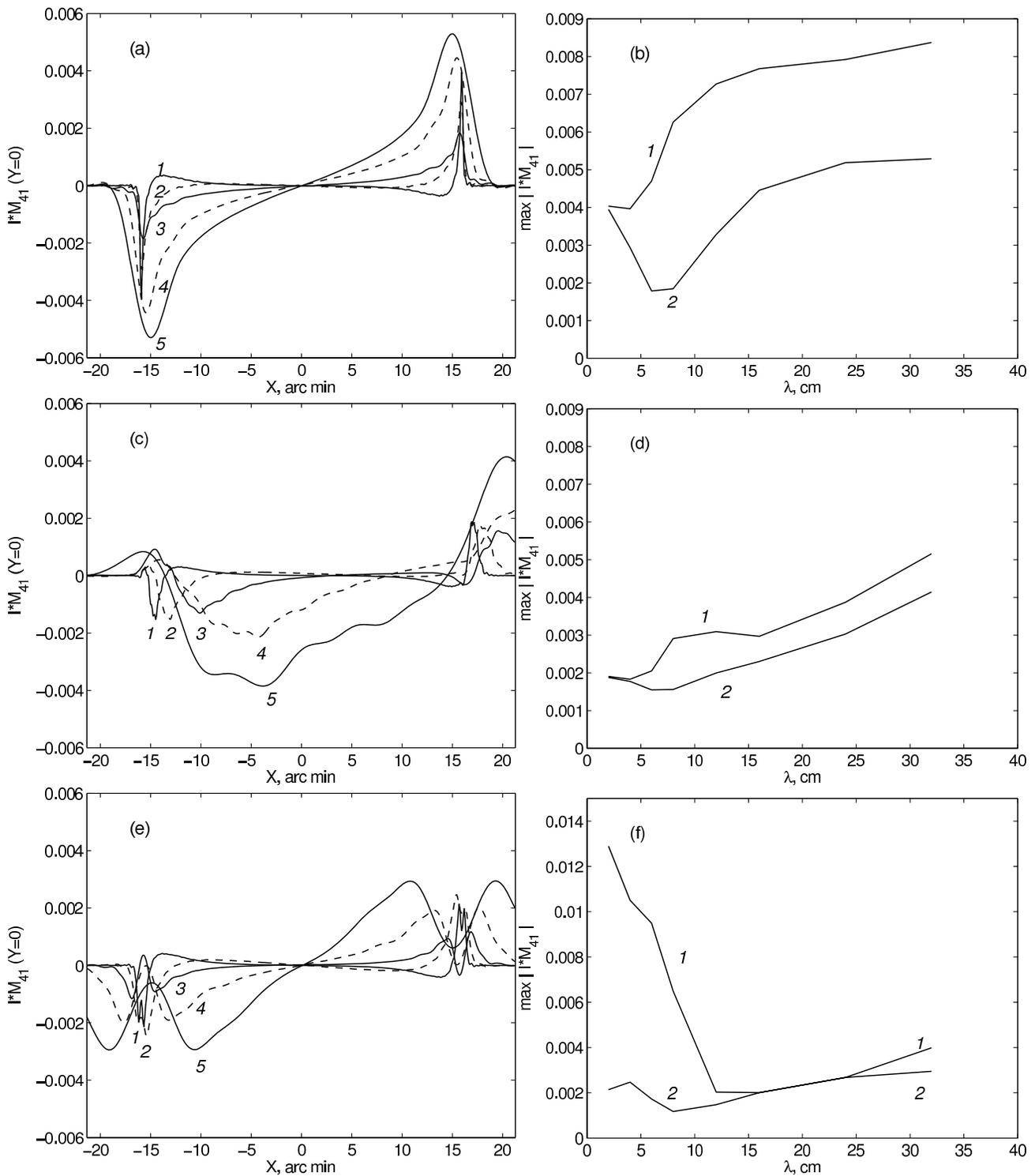


Рис. 5. Слева показаны центральные сканы изображений паразитного сигнала на разных λ при сфокусированной установке (а), при поперечном выносе из фокуса на 6λ (с), при продольном выносе на 1λ (е): сплошные линии 1, 3, 5 — $\lambda = 2, 8, 32$ см, штриховые линии 2, 4 — $\lambda = 4, 16$ см. Справа для этих же трех случаев показаны изменения максимума паразитного сигнала с длиной волны в пределах кадра $\sim 40' \times 40'$ (1) и на центральном скане (2).

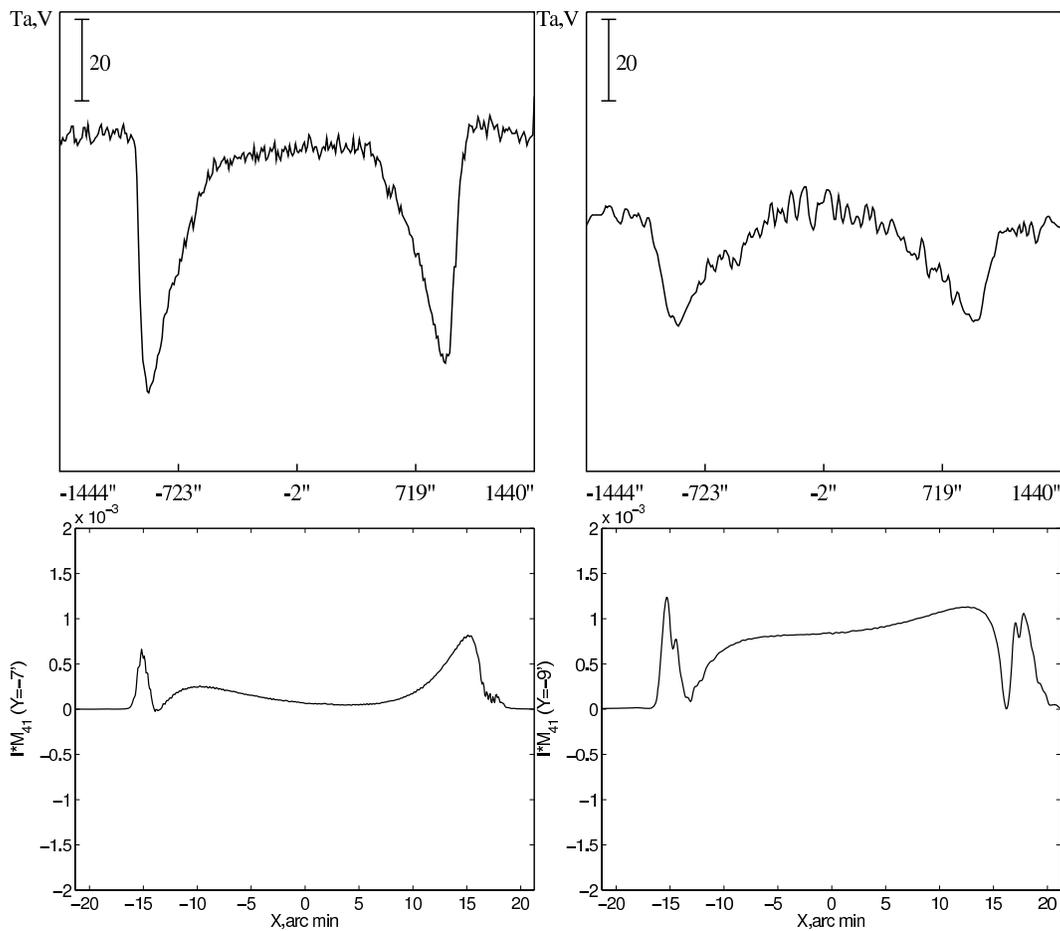


Рис. 6. Вверху показаны сканы в канале V на $\lambda = 2.03$ (слева) и 4.62 см (справа), полученные при наблюдениях Солнца 05.10.1996. Масштаб в кельвинах указан вверху слева. Внизу — модельные сканы с одинаковым знаком поляризации на краях на волнах 2 (слева) и 4 см (справа) при поперечном выносе первичного облучателя из фокуса на 6λ и смещении диаграммы по Y .

Кроме того, на приведенных на Рис. 10 изображениях сканы с возрастанием поляризации одного знака к краям имеются только на длине волны 2 см. При уменьшении асимметрии облучения такие сканы также исчезают из изображений. На Рис. 12 показаны изображения на длине волны 2 см для установки С (слева) и для установки D с облучением $7/8$ поверхности антенны (справа). В случае установки С сканы с симметричным увеличением поляризации одного знака к краям присутствуют в изображении, в случае D таких сканов нет — сканы, смещенные по Y от центра на нескольких угловых минут, имеют более сложную форму. В обоих случаях сканов искомой формы нет на длинах волн 4 см и выше. Таким образом, рассмотренные модели с несимметричным облучением антенны дают наблюдаемые особенности паразитной поляризации лишь при сильной асимметрии и на волнах менее 4 -х см, что не может полностью объяснить результаты наблюдений.

3. ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ R И L ПОЛЯРИЗАЦИЙ

Различия диаграмм M_R , M_L , M_{11} , возникающие при наличии паразитной круговой поляризации в антенной системе РАТАН-600, изучались, в основном, для режима работы одним сектором на высотах, существенно отличных от нуля. Согласно имеющимся представлениям [6, 7, 12], основным в этом случае является смещение диаграмм M_R , M_L относительно друг друга вдоль оси X . Это обусловлено тем, что в распределении фазы круговых компонент поля преобладает линейная составляющая, различающаяся для правой и левой поляризаций знаком. При этом форма диаграмм M_R , M_L практически одинакова и мало отличается от M_{11} . В работе [7] получена формула для оценки смещения максимумов M_R , M_L , которая подтверждается расчетами и наблюдениями. На этих представлениях основываются некоторые из методов коррекции паразитного сигнала, которые сводятся к подходящему совмещению сканов, полученных

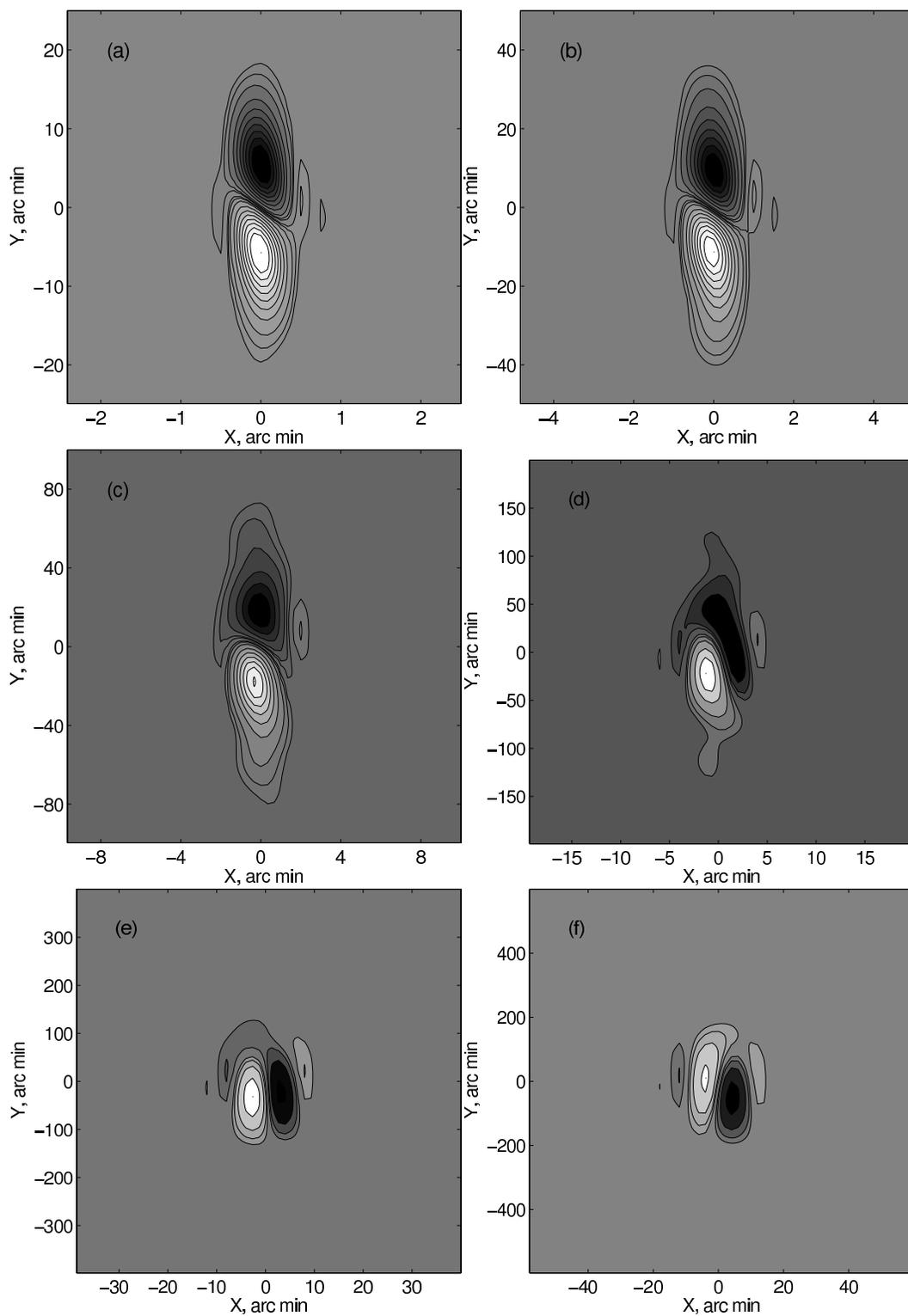


Рис. 7. M_{41} при облучении одной половины антенны (установка В) на волнах 2 (а), 4 (b), 8 (с), 16 (d), 32 (е) и 48 (f) см. Изолинии проведены на уровнях ± 0.0025 , ± 0.005 и, начиная с уровня ± 0.01 , с шагом ± 0.01 .

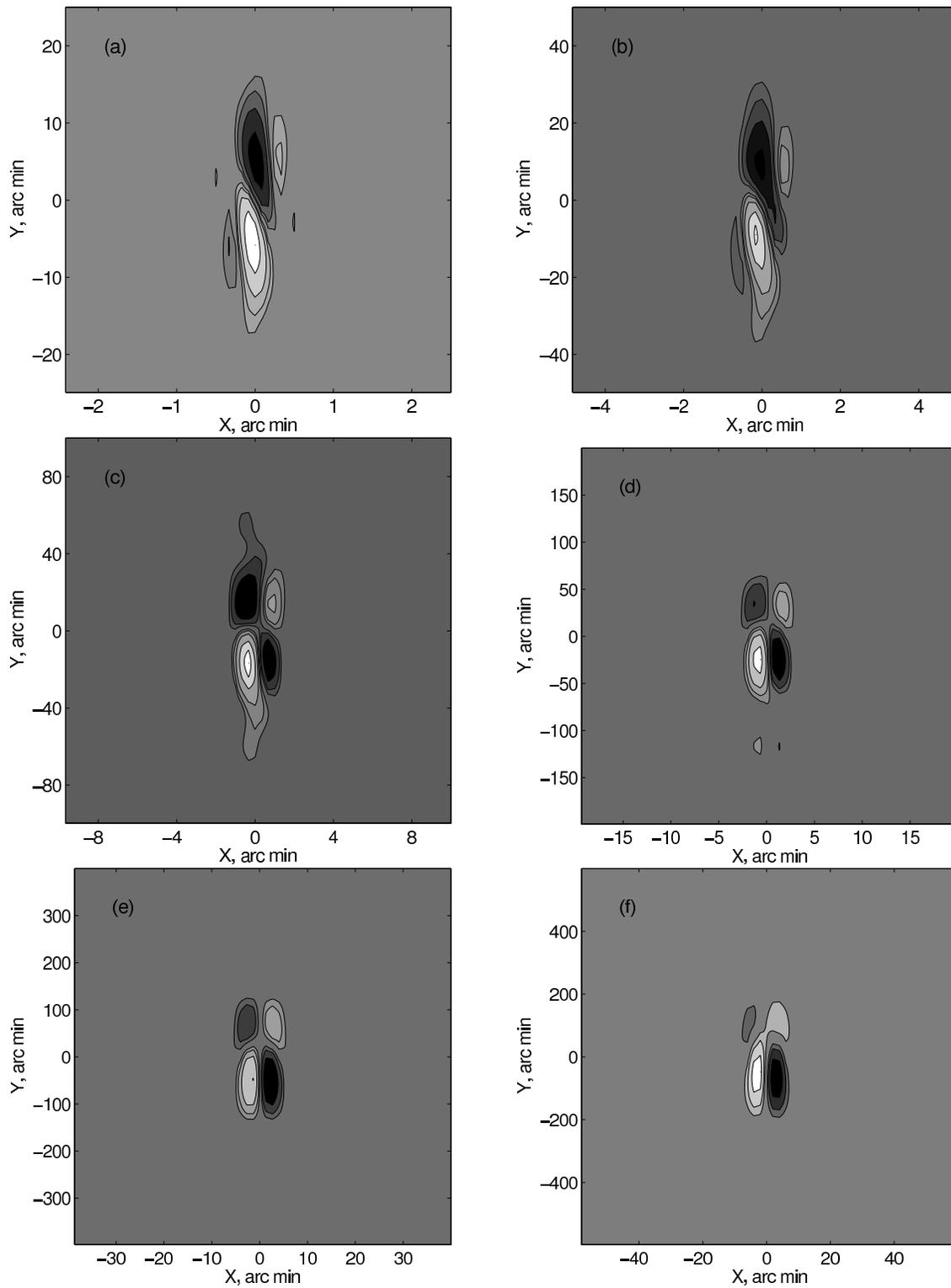


Рис. 8. M_{41} при облучении 3/4 антенны (установка С). Длины волн и изолинии, как на Рис. 7.

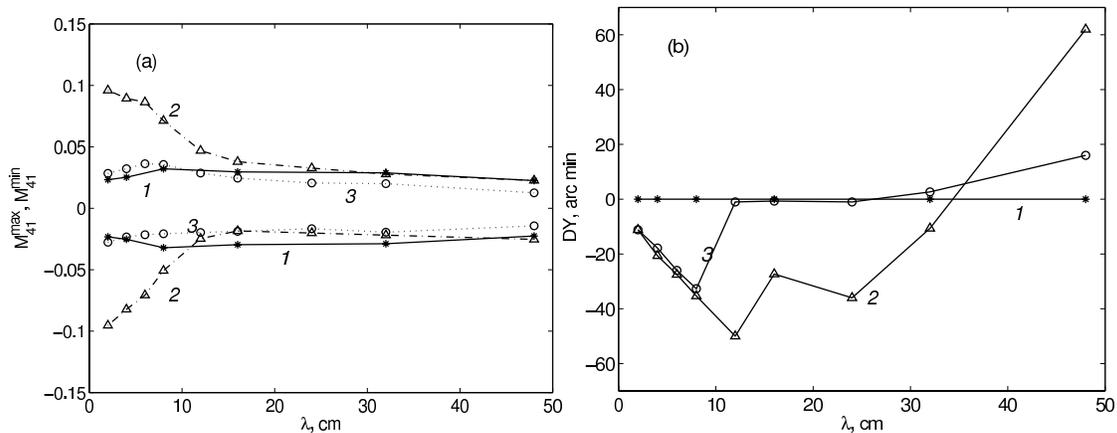


Рис. 9. (а) — максимальная амплитуда лепестков M_{41} для стандартной установки антенны А (кривая 1) и установок с несимметричным облучением антенны В (кривая 2) и С (кривая 3). Верхние кривые соответствуют правополяризованным лепесткам, нижние — левополяризованным. (б) — расстояние по оси Y между максимумами лепестков разного знака для тех же установок антенны.

в R и L -поляризациях [7, 12], или к вычитанию из кривой V паразитного сигнала, вычисленного исходя из предположения, что поляризационную диаграмму можно представить как производную ДН по мощности [8, 9]. Малые различия между M_R, M_L и M_{11} для режима ЮП остались неизученными. Однако получить представление о них необходимо, в частности, для более корректной обработки наблюдений.

На Рис. 13 приведены диаграммы M_R, M_L для работы в стандартном режиме ЮП на длинах волн 2, 8 и 16 см. Диаграммы показаны в пределах кадра, который увеличивается пропорционально λ . С ростом длины волны диаграммы M_R, M_L меняются подобно M_{11} : ширина ДН по Y растет медленнее, чем λ , а максимум смещается в сторону меньших Y , что связано с наличием дифракционных эффектов [21]. Различия между M_R и M_L на одной волне также меняются с длиной волны. С увеличением λ становится виден разворот M_R, M_L в противоположных направлениях относительно вертикальной оси. Такой характер различий подтверждается особенностями лепестковой структуры элемента M_{41} на длинах волн ≥ 8 см, где вид элемента приближается к “квадрупольному” (Рис. 1, см. также [20]). Таким образом, различие право- и левополяризованной диаграмм не сводится только к их смещению относительно друг друга при одинаковой форме. Однако для уточнения стандартной методики обработки солнечных сканов оценим смещение максимумов диаграмм.

В работе [21] было показано, что максимум M_{11} смещается от центра в сторону меньших высот. Величина смещения в большей части диапазона растет с ростом длины волны и на $\lambda \gtrsim 8$ см составляет несколько угловых минут. Как видно из Рис. 14, такое же смещение имеется и у диаграмм

M_R, M_L . На Рис. 14(а) показано положение максимумов M_{11}, M_R, M_L в системе координат (X, Y) на разных длинах волн в диапазоне 2–48 см. Точками показаны максимумы M_{11} , звездочками и кружками — максимумы M_R и M_L соответственно. Сопоставить символы длине волны можно с помощью Рис. 14(с), на котором для всех трех диаграмм показано смещение максимума по Y в зависимости от λ . Смещение во всех трех случаях практически одинаково. По оси X максимумы M_R, M_L также смещены, при этом они расположены по разные стороны от максимума M_{11} . Величина смещения по X растет с ростом λ и составляет порядка нескольких угловых секунд на длинах волн больше 10 см. Смещение максимумов M_R, M_L относительно максимума M_{11} по X и по Y (dX, dY) показано на Рис. 14(е).

Такие же зависимости для установки В, в которой работает только одна половина антенны, показаны на Рис. 14(б),(д),(ф). В этом случае максимумы диаграмм ведут себя иначе. По координате Y они, как и в случае А, смещаются вниз, но максимум одной из поляризаций находится выше, а другой — ниже максимума M_{11} . Расстояние между максимумами меняется с длиной волны и составляет десятки и сотни угловых секунд. По X расстояние между максимумами на длинных волнах в 2 раза больше, чем в случае стандартной установки А.

При наблюдениях источников малых угловых размеров их сканы определяются одномерными сечениями диаграмм, параллельными оси X и имеющими координату Y , соответствующую смещению источника от центра диаграммы по высоте. Расстояние между максимумами M_R, M_L на этих сечениях (DX) будет влиять на определение положения источников право- и левополяризованного излучения.

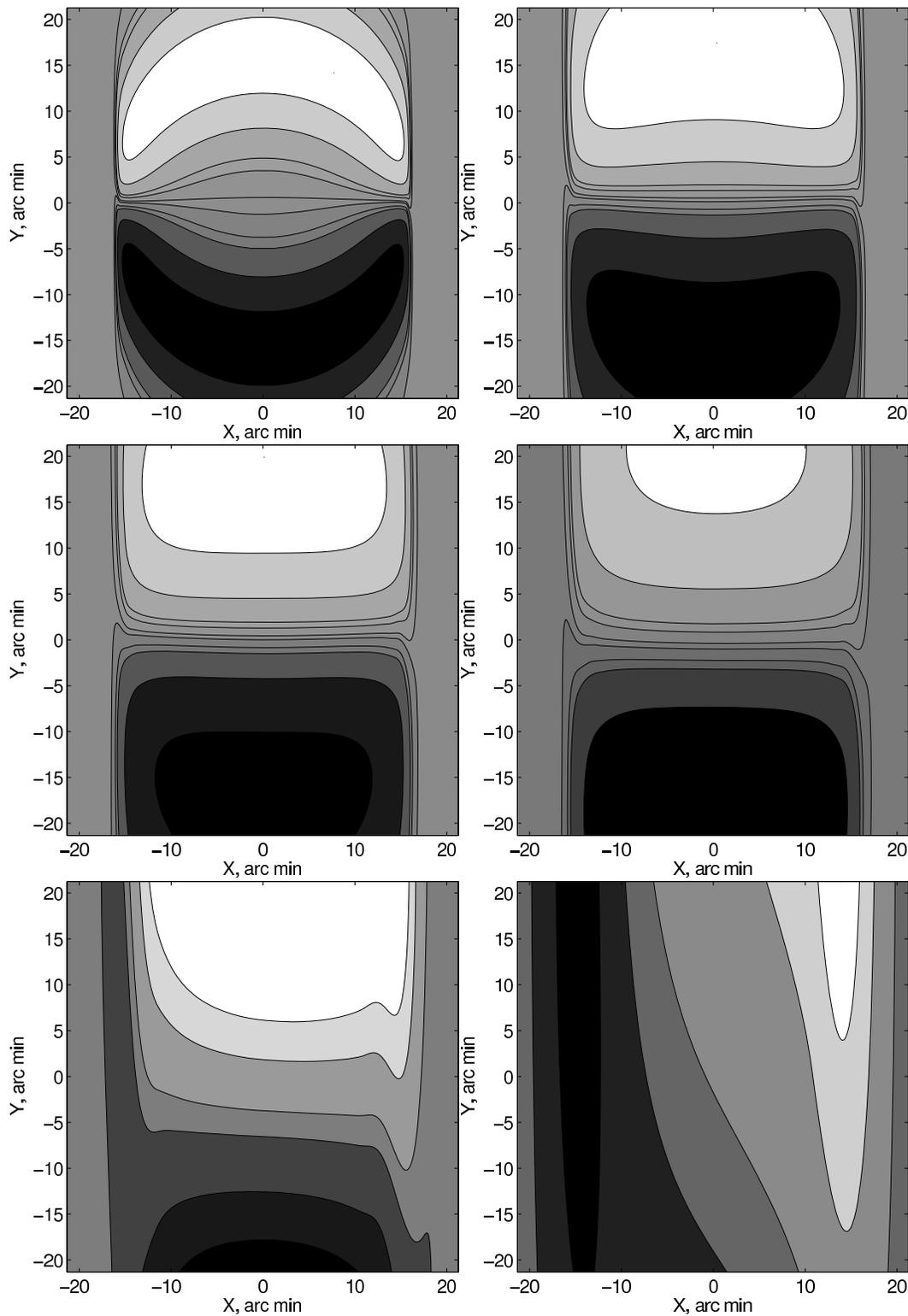


Рис. 10. Паразитный сигнал в канале V при наблюдении неполяризованного диска в случае работы одной половины антенны (установка В). Длины волн и их порядок такие же, как на Рис. 2. Изолинии проведены на уровнях ± 0.04 , ± 0.02 , ± 0.008 , ± 0.005 , ± 0.001 .

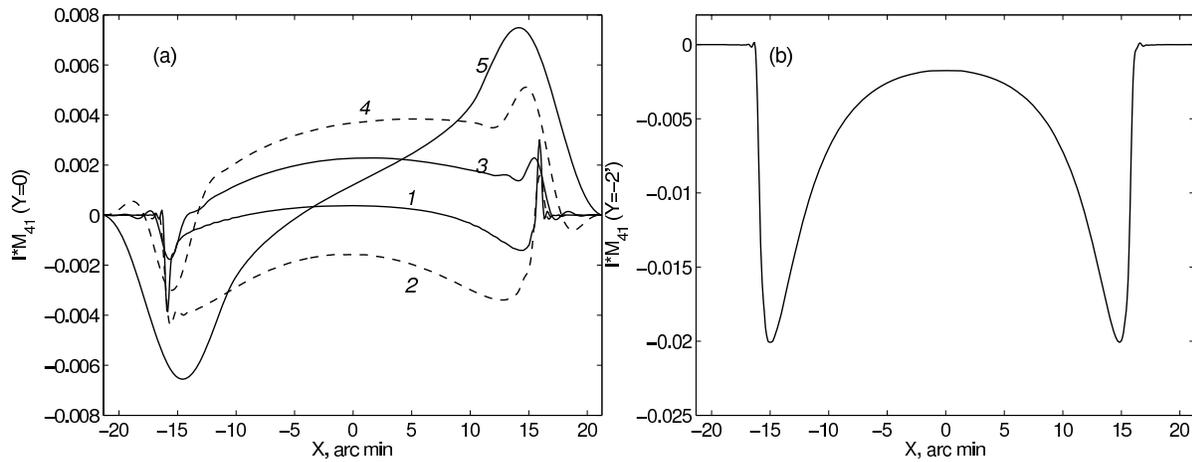


Рис. 11. Сканы паразитной поляризации при установке В: (а) — центральные сканы на разных длинах волн, обозначения кривых такие же, как на Рис. 5; (б) — скан на $\lambda = 2$ см, смещенный от центра по Y на $2'$.

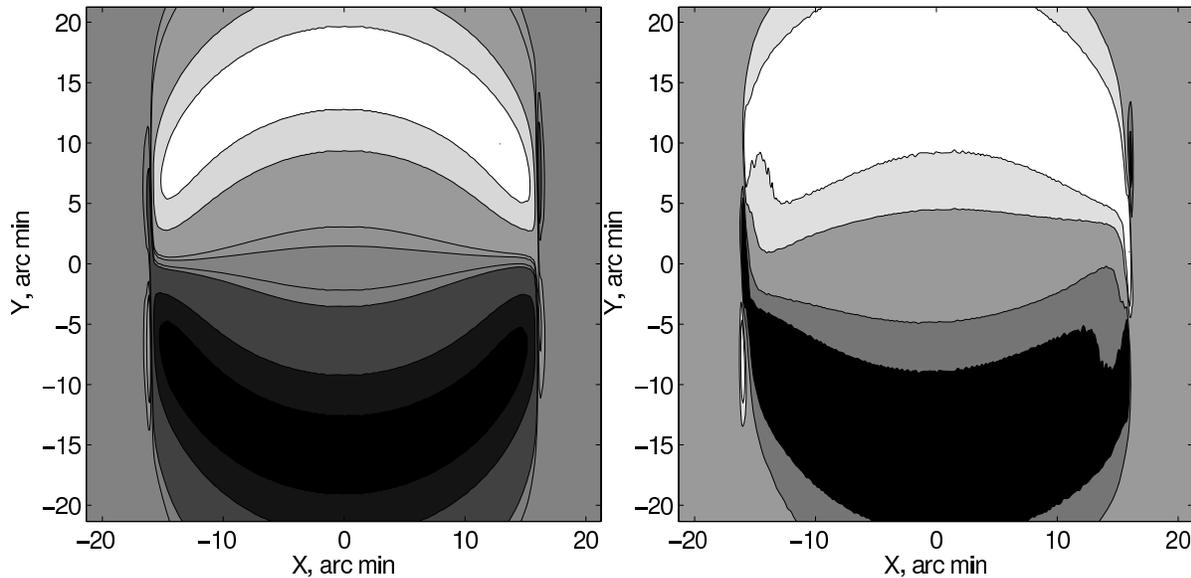


Рис. 12. Изображения паразитного сигнала на длине волны 2 см для установки С (слева) и для установки D (справа). Описание установок дано в тексте, изолинии проведены на тех же уровнях, что и на Рис. 10, с добавлением уровня ± 0.0005 .

На Рис. 15(а) показано изменение с длиной волн расстояния по X между максимумами двумерных диаграмм M_R, M_L для установки А (DX_0). Поскольку для этой установки Y -координаты максимумов совпадают, то DX_0 равно DX для сечений с $Y = Y_0$, где Y_0 — координата максимумов диаграмм. Можно видеть, что DX_0 изменяется немного медленнее, чем λ , изменение которой показано штриховой линией. DX на сечениях с другой координатой Y могут отличаться от DX_0 . Примеры изменения DX с изменением Y для длин волн 4, 8 и 16 см показаны на Рис. 15(б). Пределы изменений Y здесь порядка диаметра солнечного диска. Видно, что на длине волны 4 см DX в пределах диска остается практически постоянным,

а на более длинных волнах меняется с Y . На $\lambda \sim 8$ см изменения сравнимы по порядку величины с самой величиной, при этом в пределах диска меняется знак DX . При дальнейшем росте длины волны относительный рост изменений DX в пределах диска замедляется из-за малости размера солнечного диска в сравнении с шириной ДН по Y .

Таким образом, следует учитывать, что различие в положении право- и левополяризованной составляющих излучения источника, помимо прочего, может быть вызвано диаграммными эффектами. Хотя величина DX мала по сравнению с шириной ДН, но она может быть заметна, так как точность измерения положения сильных радиоисточников составляет десятые и сотые доли ширины ДН

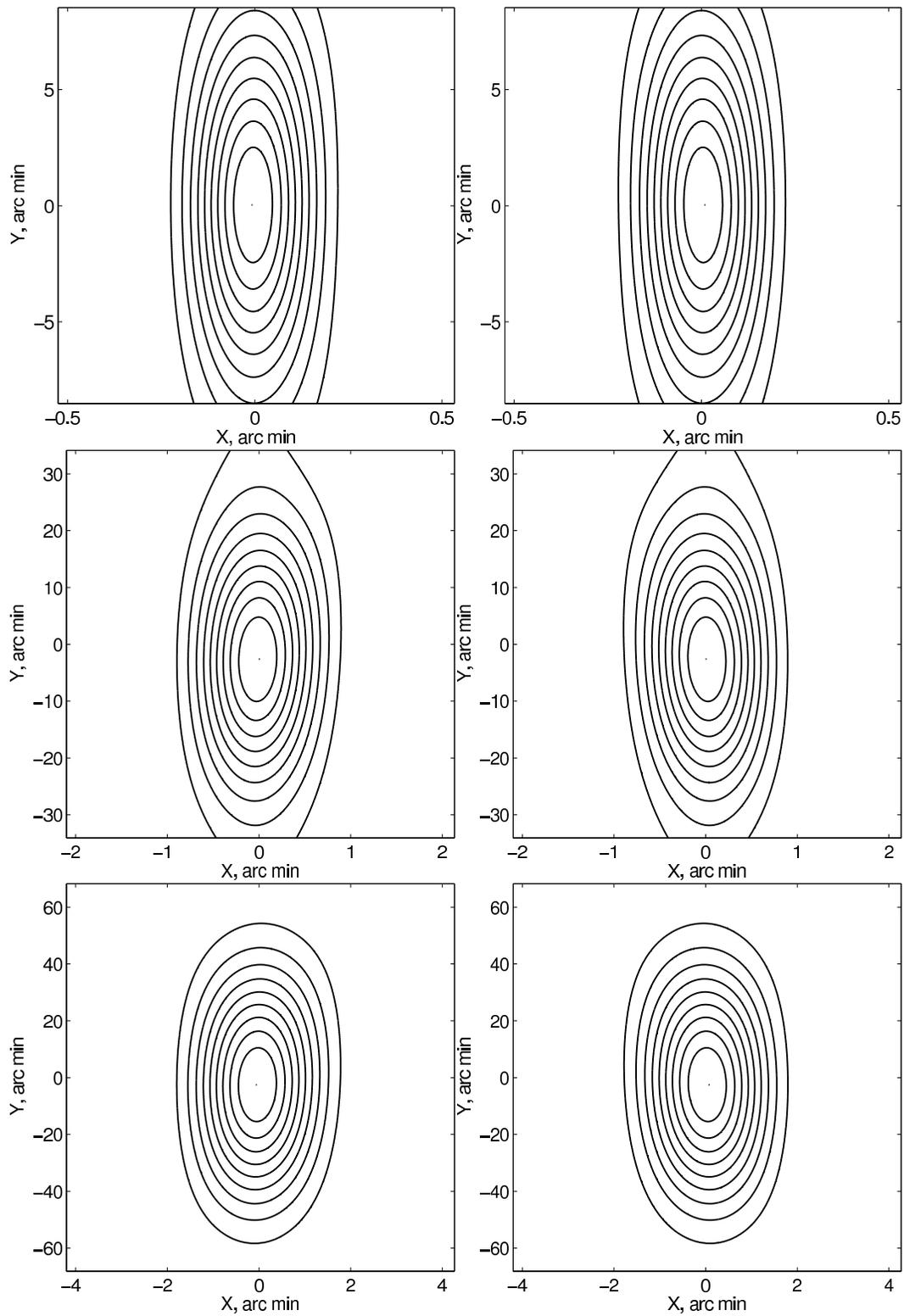


Рис. 13. Диаграммы направленности M_R (слева) и M_L (справа) на длинах волн 2, 8, 16 см (сверху вниз). Изолинии проведены через 0.1, начальный уровень 0.1.

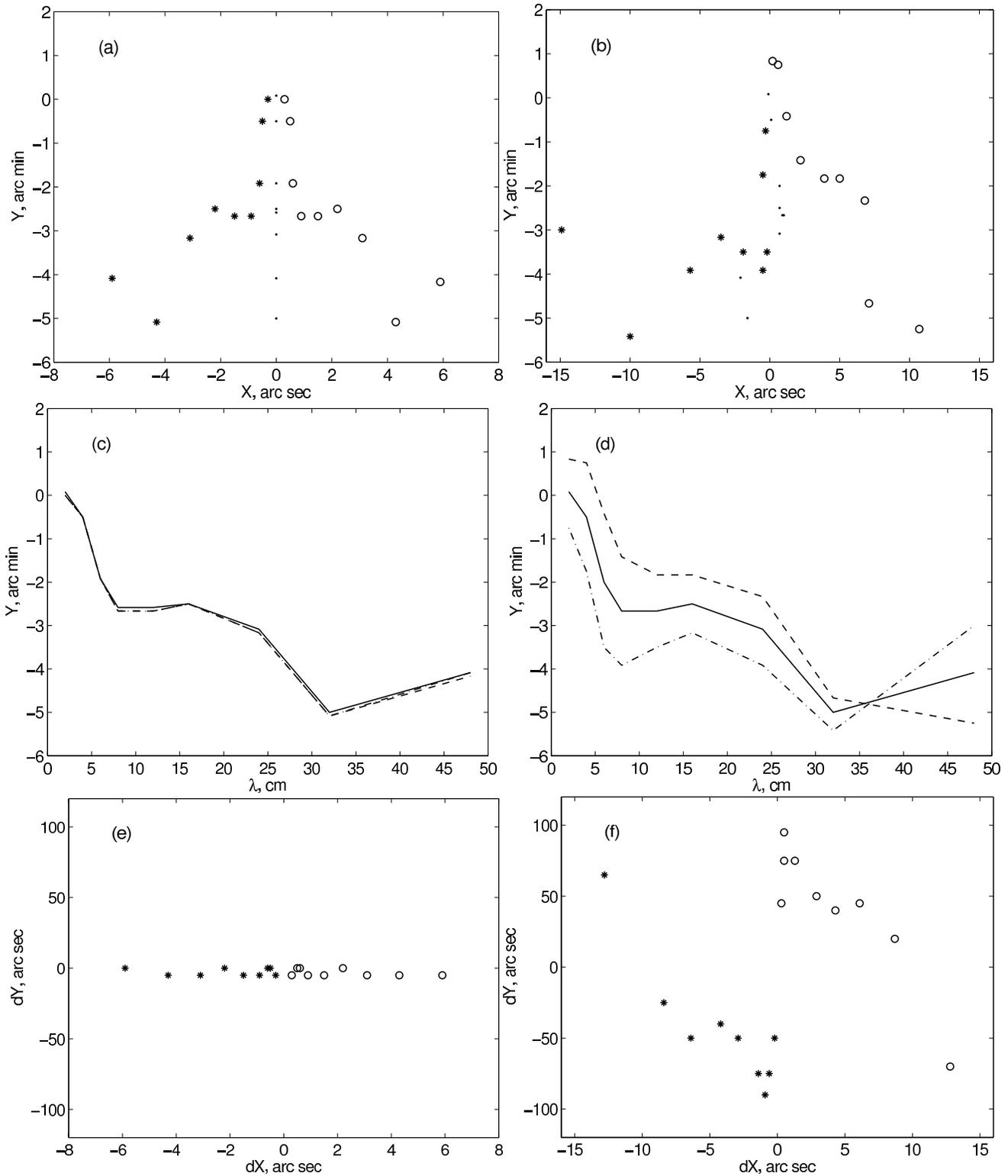


Рис. 14. Различия в положении максимумов M_{11} (.), M_R (*), M_L (o). Левые рисунки соответствуют установке антенны А, правые — установке В. (а), (b) — положение максимумов в плоскости (X, Y) на $\lambda = 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48$ см; (с), (d) — смещение максимумов по Y в зависимости от λ (сплошная линия — M_{11} , штриховая — M_L , штрих-пунктир — M_R); (е), (f) — смещение максимумов M_R, M_L относительно M_{11} .

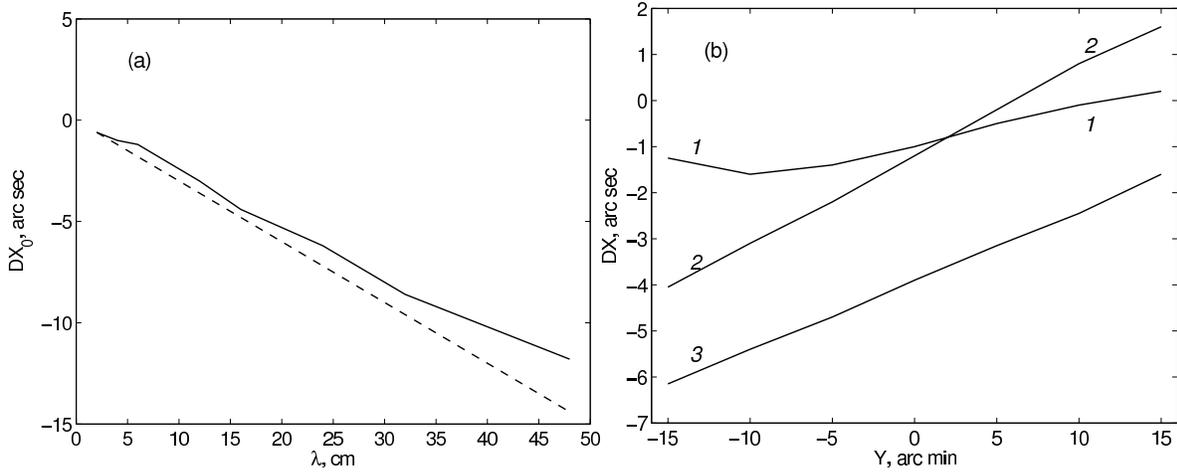


Рис. 15. (а) — изменение расстояния по X между максимумами двумерных диаграмм M_R, M_L с длиной волны для установки А. Штриховой линией показано изменение расстояния пропорциональное λ . (б) — изменение расстояния между локальными максимумами M_R, M_L на горизонтальных сечениях с изменением Y -координаты. Кривая 1 — $\lambda = 4$ см, 2 — $\lambda = 8$ см, 3 — $\lambda = 16$ см.

благодаря высокому отношению сигнал/шум [25]. Величина DX зависит от длины волны, от варианта облучения антенны и от положения источника в диаграмме по Y .

4. ПАРАЗИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ ПРИЕМЕ R И L -ИЗЛУЧЕНИЯ В РАЗНЫХ ТОЧКАХ ФОКАЛЬНОЙ ЛИНИИ

Рассмотрим случай, когда право- и левополяризованное излучение регистрируется первичными облучателями, расположенными в разных точках фокальной оси вторичного зеркала. Параметры Стокса I и V в этом случае получают в процессе обработки данных с помощью подходящего совмещения сканов R и L с последующим их сложением и вычитанием. Полученным таким образом параметрам Стокса можно сопоставить элементы матрицы Мюллера M'_{11}, M'_{41} , которые будут отличаться от элементов матрицы Мюллера, характеризующих какую-либо одну точку фокальной линии. Если соблюдены условия, при которых верны соотношения (1)–(3), можно показать, что:

$$\begin{aligned} I &= I_0 * M'_{11} + V_0 * M'_{41} \\ V &= I_0 * M'_{41} + V_0 * M'_{11}, \end{aligned} \quad (6)$$

где элементы M'_{11} и M'_{41} равны:

$$\begin{aligned} M'_{11} &= (M_R + M_L)/2 \\ &= \frac{(M_{11}^R + M_{11}^L) + (M_{41}^R - M_{41}^L)}{2} \\ M'_{41} &= (M_R - M_L)/2 \\ &= \frac{(M_{11}^R - M_{11}^L) + (M_{41}^R + M_{41}^L)}{2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Индексы “ R ” и “ L ” при элементах M_{11} и M_{41} указывают на то, что эти элементы относятся к разным точкам фокальной линии и не равны между собой: $M_{11}^R \neq M_{11}^L, M_{41}^R \neq M_{41}^L$. При перестановке местами первичных облучателей для R и L поляризаций слагаемые в (7), равные сумме элементов, не изменятся, а слагаемые, равные разности, изменят знак. Таким образом, функции M'_{11}, M'_{41} будут зависеть от порядка расположения облучателей.

Как уже было сказано, перед сложением и вычитанием сканы R и L должны быть совмещены. При этом все функции, связанные с каждой из поляризаций, смещаются по оси X на величину Δx , которую будем называть параметром сдвига. Функции одной поляризации сдвигаются на $+\Delta x$, другой — на $-\Delta x$. Вид функций M'_{11} и M'_{41} будет зависеть от Δx . Основным критерий, по которому происходит совмещение сканов — это совпадение максимумов M_R и M_L . Обозначим соответствующий этому критерию параметр сдвига как Δx_0 , он равен половине исходного расстояния между максимумами. Из изложенного в разделе 3 ясно, что Δx_0 будет меняться с длиной волны и зависеть от особенностей облучения антенны. При этом на длинах волн $\gtrsim 8$ см нельзя добиться совпадения максимумов во всех горизонтальных сечениях диаграммы при одном значении сдвига. С другой стороны, Δx можно варьировать в небольших пределах для того, чтобы оптимизировать характеристики функций M'_{11}, M'_{41} .

Рассмотрим характеристики M'_{11}, M'_{41} на примере расчетов, сделанных для приемного комплекса СПКВР [22], который использовался в наблюдениях Солнца с сентября 2005 по март 2010 г. Наблюдения велись в диапазоне 2–10 см. Первичные

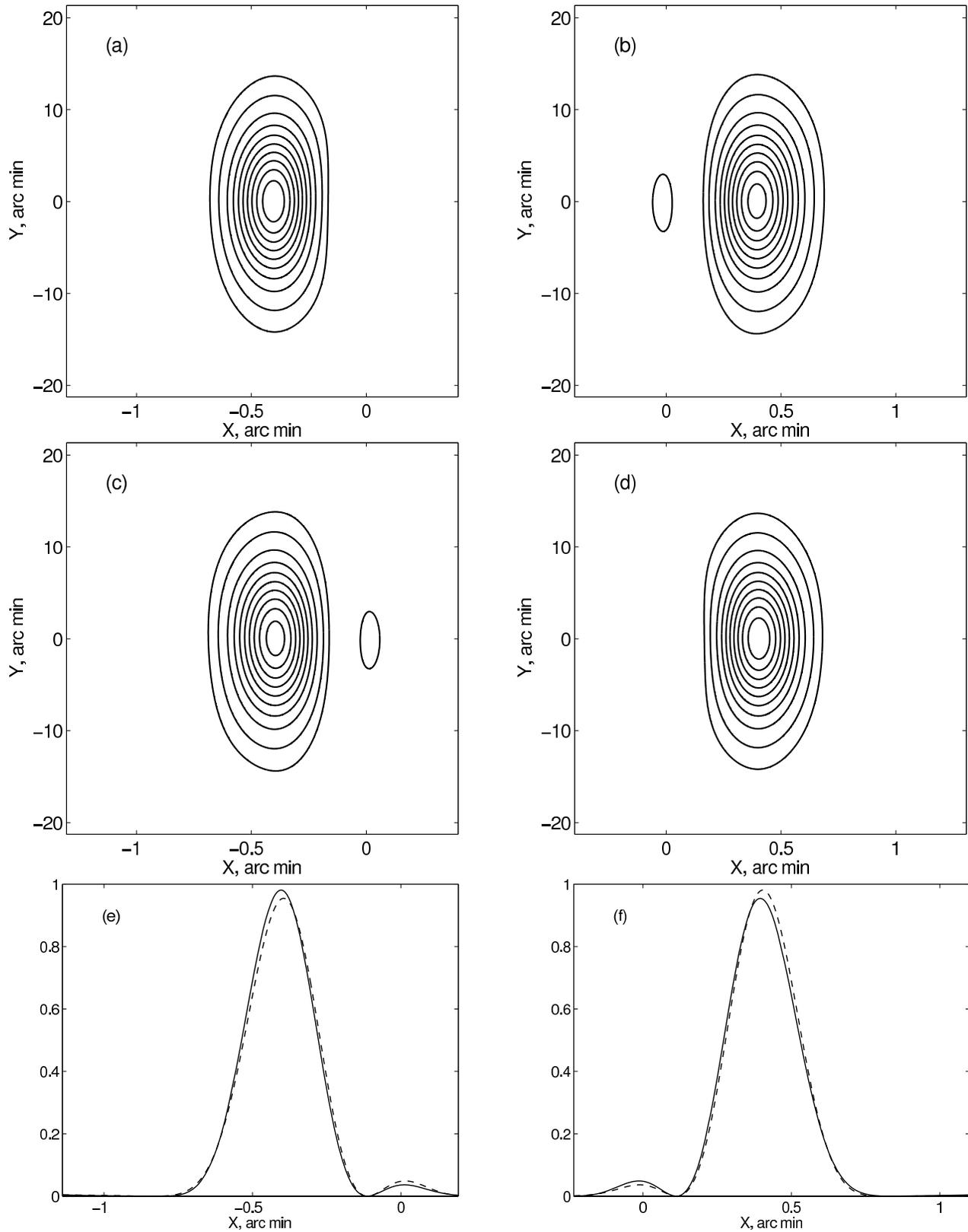


Рис. 16. Диаграммы M_R (вверху) и M_L (в середине) на длине волны 2 см при выносе первичного облучателя на 17.5 мм к западу (слева) и к востоку (справа). Изолинии проведены на уровне 0.04 и, начиная с уровня 0.1, с шагом 0.1. Внизу показаны центральные горизонтальные сечения этих диаграмм (сплошные линии — M_R , штриховые — M_L).

облучатели для приема R и L излучения были вынесены из фокуса вдоль фокальной оси вторичного зеркала на 17.5 мм к востоку (E) и западу (W). На Рис. 16(a–d) приведены диаграммы M_R, M_L , формирующиеся в этих точках на длине волны 2 см. На Рис. 16(e),(f) показаны их одномерные горизонтальные сечения, проходящие через максимум. Видно, что диаграммы M_R, M_L , формирующиеся в одной точке, различаются между собой, причем при выносе к востоку M_L имеет меньшие aberrации (амплитуда бокового лепестка 3.7%), чем M_R (амплитуда бокового лепестка 5.1%), а при выносе к западу — наоборот. Изолинии проведены так, что боковые лепестки на изображениях M_R (W) и M_L (E) не видны. В результате, как уже было сказано выше, элементы M'_{11}, M'_{41} будут зависеть от порядка расположения первичных облучателей, причем случай, когда облучатель L вынесен к E, а R к W, будет более оптимальным, так как M'_{11} в этом случае имеет более высокий максимум и меньшую величину боковых лепестков. Параметр сдвига Δx_0 также зависит от расположения облучателей, так как расстояние между максимумами M_R, M_L ($2\Delta x_0$) при разных вариантах расположения облучателей различается. На $\lambda = 2$ см для варианта $R_W L_E$ $2\Delta x_0 = 48.4''$, а для $R_E L_W$ — $47.4''$. Изменение расстояния с длиной волны для обоих вариантов показано на Рис. 17(a). Для варианта $R_W L_E$ расстояние с ростом λ растет, а для $R_E L_W$ — уменьшается. На $\lambda = 4$ см расстояния равны $48.8''$ и $46.8''$ соответственно, а на $\lambda = 8$ см — $49.6''$ и $46.2''$.

Диаграммы M'_{11} , полученные совмещением M_R, M_L , имеют боковые лепестки, расположенные симметрично относительно главного. Амплитуда этих лепестков в 2 раза меньше, чем амплитуда боковых лепестков исходных M_R, M_L . Центральные горизонтальные сечения M'_{11} на длине волны 2 см для обоих вариантов расположения рупоров показаны на Рис. 17(b). Точками на этом же рисунке показано сечение диаграммы M_{11} при наблюдениях в фокусе. У этого сечения величина максимума больше, а амплитуда боковых лепестков меньше, чем у сечений M'_{11} , но в целом различия между M_{11} и M'_{11} невелики. При варьировании Δx в пределах нескольких угловых секунд относительно Δx_0 параметры M'_{11} существенно не меняются. Зависимости амплитуды максимума и полуширины главного лепестка по горизонтали ($HPBW$) от Δx показаны на Рис. 17(c),(d). Изменения этих величин не превышают нескольких процентов от самой величины.

Различия вариантов $R_W L_E$ и $R_E L_W$ более существенны для элемента M_{41} , что можно видеть на примере диаграмм, показанных на Рис. 18. На этом рисунке приведены M'_{41} на длинах волн 2, 4 и 8 см

для вариантов $R_W L_E$ (слева) и $R_E L_W$ (справа). Во всех случаях проведена коррекция смещения M_R, M_L с параметром сдвига $\Delta x = \Delta x_0$. Функции заметно различаются, как между собой, так и по сравнению с M_{41} для сфокусированной антенны (см. Рис. 1 и [20]). Изменение вида функций M'_{41} с λ объясняется, во-первых, тем, что при фиксированном положении первичных облучателей aberrации диаграмм на более длинных волнах меньше, во-вторых, влиянием дифракционных эффектов.

Величина паразитной поляризации после коррекции смещения диаграмм составляет несколько процентов от максимума M'_{11} , хотя на отдельных сканах сигнал может быть подавлен. Например, на Рис. 19(a) приведены центральные сечения M'_{41} на $\lambda = 2, 4, 8$ см для варианта $R_W L_E$, и видно, что с ростом λ паразитная поляризация на центральном скане заметно падает. Следует заметить, что после коррекции смещения M_R, M_L при наблюдениях в фокусе, где можно было бы ожидать заметного падения сигнала по сравнению с нескорректированным M_{41} [7, 12], паразитный сигнал уменьшается незначительно. На Рис. 19(b) приведен скорректированный элемент M_{41} при наблюдениях в фокусе на $\lambda = 2$ см. Изолинии здесь проведены на тех же уровнях, что и на Рис. 18. Видно, что и в этом случае паразитная поляризация превышает 1%.

Характеристики M'_{41} в большей степени, чем M'_{11} , зависят и от Δx . На Рис. 20 приведены центральные горизонтальные сечения M'_{41} при трех величинах сдвига для вариантов $R_W L_E$ (a) и $R_E L_W$ (b). Сдвиги отличаются друг от друга не более, чем на $1''$, но даже при таком небольшом изменении Δx вид и величина паразитного сигнала заметно меняются. Как уже было сказано выше, можно использовать различные критерии для выбора Δx . Например, вместо точного совмещения максимумов M_R, M_L , можно выбрать Δx , при котором величина паразитной поляризации минимальна. На Рис. 21(a),(b),(c) показано изменение максимума модуля M'_{41} с изменением Δx для разных λ и разных вариантов расположения первичных облучателей. Параметр сдвига, при котором $|M'_{41}|$ минимален, во всех этих случаях разный, при этом он отличается и от соответствующего Δx_0 . На длине волны 2 см $\Delta x = 49''$ и $48.4''$, 4 см — $49.2''$ и $48''$, 8 см — $49.6''$ и $47.2''$ для вариантов $R_W L_E$ и $R_E L_W$ соответственно.

Величина паразитной поляризации быстро возрастает при удалении Δx от точки минимума. Однако видно, что скорость роста обратно пропорциональна λ (масштаб шкалы Δx на рисунках уменьшается пропорционально длине волны, и при этом функции выглядят подобными). Это позволяет при обработке данных использовать одинаковое для всех длин волн значение Δx . Если оно выбирается

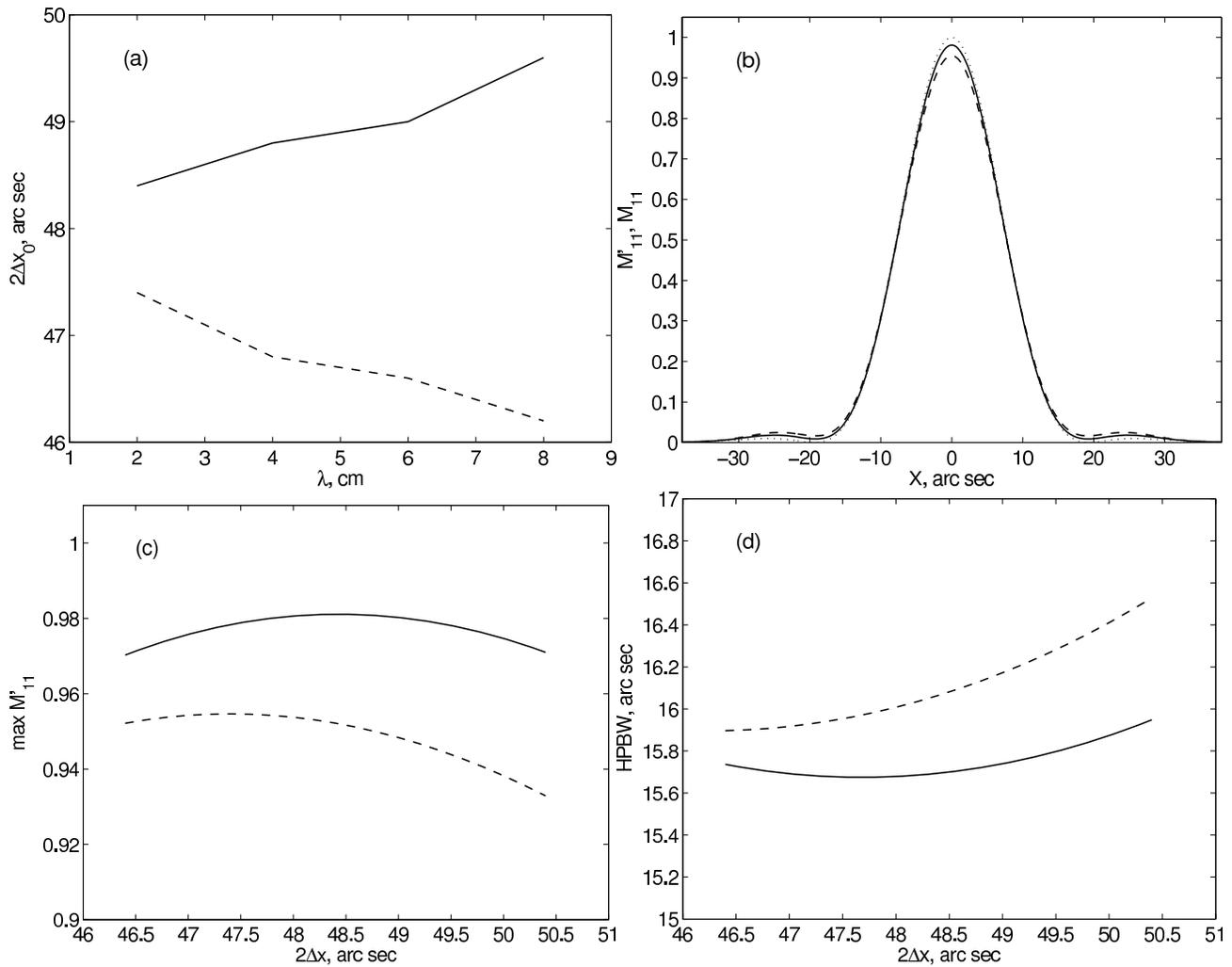


Рис. 17. (a) — расстояние между максимумами M_R, M_L в зависимости от λ . (b) — центральные горизонтальные сечения M'_{11} на длине волны 2 см, точками показано сечение M_{11} для сфокусированной антенны. (c), (d) — зависимость максимума и полуширины M'_{11} от величины сдвига для $\lambda = 2$ см. Сплошные линии соответствуют расположению первичных облучателей $R_W L_E$, штриховые — $R_E L_W$.

близким к оптимуму на короткой волне, то можно ожидать, что паразитный сигнал на более длинных волнах также будет достаточно малым.

Как было показано в [20], с ростом λ возникает асимметрия M_{41} относительно оси X , и максимумы лепестков смещаются в сторону меньших Y . Для функций M'_{41} картина усложняется — в зависимости от величины сдвига симметричные варианты меняются на несимметричные, а смещение максимумов функций может происходить как в сторону меньших, так и в сторону больших Y . В наибольшей степени асимметрия M'_{41} проявляется при $\Delta x = \Delta x_0$. В этом случае асимметрия хорошо заметна после коррекции даже на длине волны 2 см при наблюдениях в фокусе (Рис. 19(b)).

Приведенные выше расчеты сделаны для установки плоского отражателя на высоту 50° . Высота Солнца при наблюдениях на РАТАН-600 меняется

в пределах $\sim 20^\circ - 70^\circ$. Моделирование показывает, что полученные характеристики M'_{41} , в частности, оптимальные значения Δx , в этом диапазоне высот практически не меняются.

Из проведенного моделирования видно, что форма и величина паразитного сигнала на сканах V , получаемых при наблюдениях R, L излучения в разных точках фокальной линии, могут быть весьма разнообразными и зависеть как от длины волны и величины сдвига, используемого при коррекции смещения, так и от положения источника в вертикальной диаграмме. Если степень круговой поляризации изучаемых источников составляет несколько процентов от полной мощности, т.е. сравнима с паразитной поляризацией, то для отделения инструментального сигнала от сигнала источника требуются специальные исследования.

На Рис. 21(d) показана зависимость величины

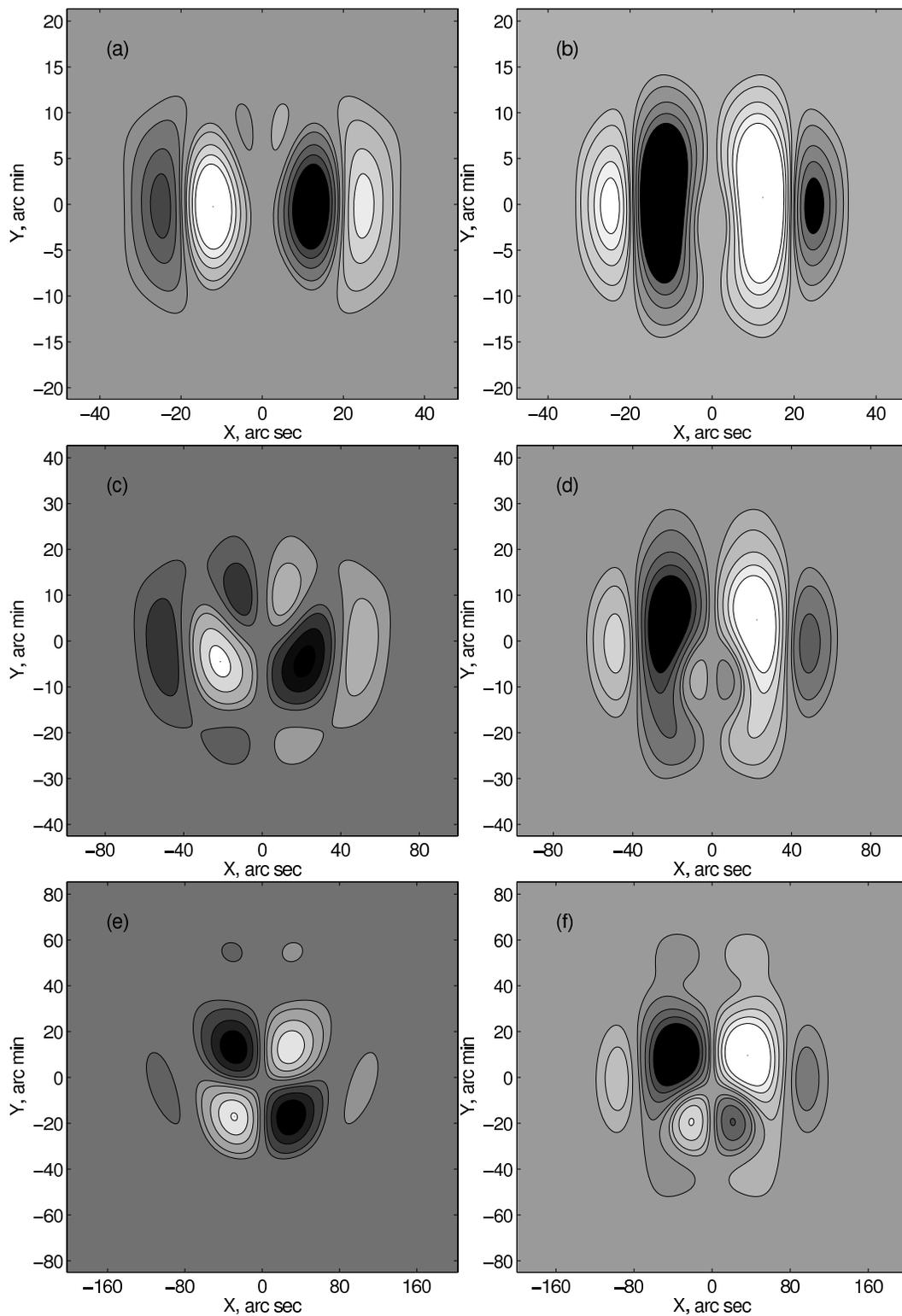


Рис. 18. M'_{41} на $\lambda = 2, 4, 8$ см (сверху вниз) при расположении первичных облучателей $R_W L_E$ (слева) и $R_E L_W$ (справа), $\Delta x = \Delta x_0$. Изолинии проведены на уровнях $\pm 0.0025, \pm 0.005, \pm 0.01, \pm 0.015 \pm 0.02$.

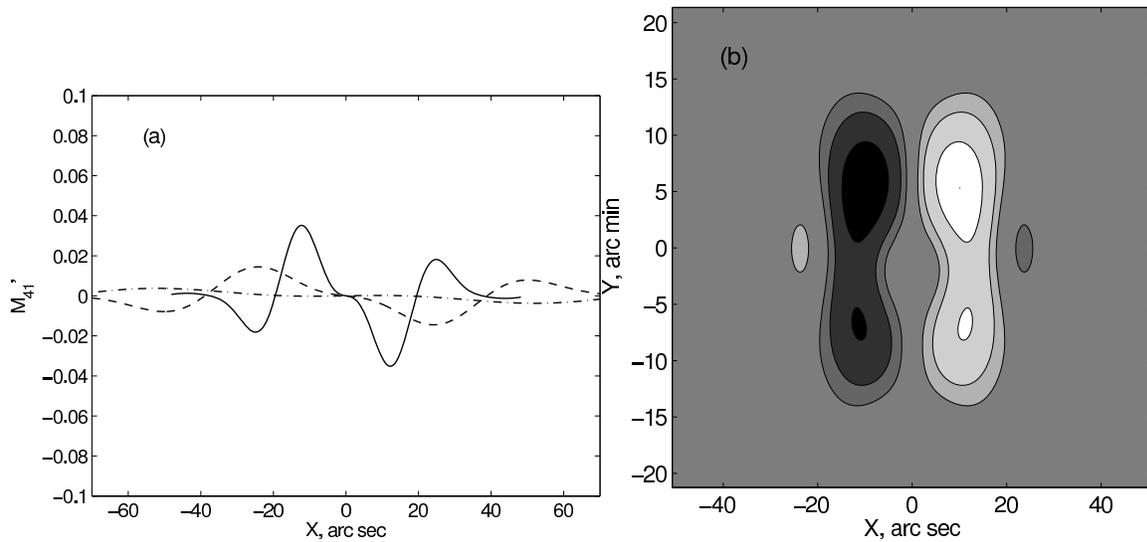


Рис. 19. (а) — центральные горизонтальные сечения M'_{41} на $\lambda = 2$ см (сплошная линия), 4 см (штриховая), 8 см (штрих-пунктир) при расположении первичных облучателей $R_W L_E$ и $\Delta x = \Delta x_0$. (б) — элемент M_{41} после коррекции смещения M_R, M_L при наблюдениях в фокусе, $\lambda = 2$ см. Изолинии проведены на тех же уровнях, что и на Рис. 18.

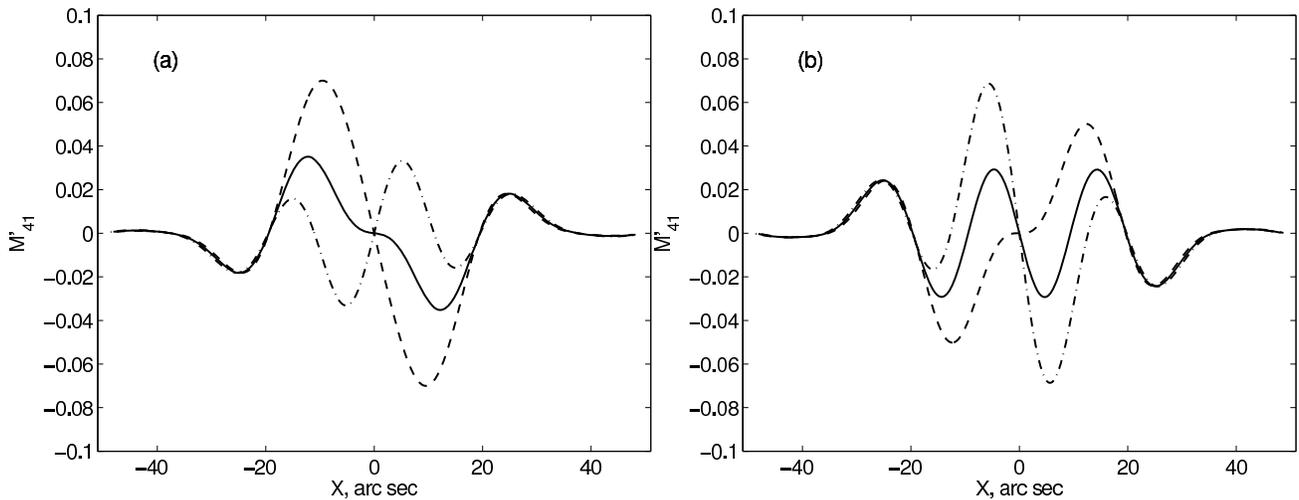


Рис. 20. Центральные горизонтальные сечения M'_{41} на $\lambda = 2$ см при различных сдвигах: $2\Delta x = 47.4''$ — штриховые линии, $48.4''$ — сплошные линии, $49.4''$ — штрих-пунктир. (а) — расположение первичных облучателей $R_W L_E$, (б) — $R_E L_W$.

паразитного сигнала от величины сдвига на центральном скане изображения солнечного диска. Расчеты сделаны для $\lambda = 2$ см и расположения рупоров $R_W L_E$ (сплошная линия) и $R_E L_W$ (пунктир). Минимум паразитной поляризации (порядка 0.3% от сигнала в интенсивности) достигается при $2\Delta x = 48.6''$ для варианта $R_W L_E$ и $48.0''$ — для $R_E L_W$, что сравнимо с оптимальными Δx для точечного источника.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы:

- Проведено моделирование инструментального сигнала в канале V при наблюдениях неполяризованного источника, подобного солнечному диску. Показано, что величина и форма паразитного сигнала на сканах зависят от длины волны и от смещения диаграммы по высоте относительно центра источника. Величина паразитной поляризации в диапазоне 2–32 см составляет доли процента. При этом все сканы паразитных изображений представляют собой функции с нечетной симметрией. При поперечном выносе первичного облучателя из фокуса величина паразитного сигнала уменьшается, а

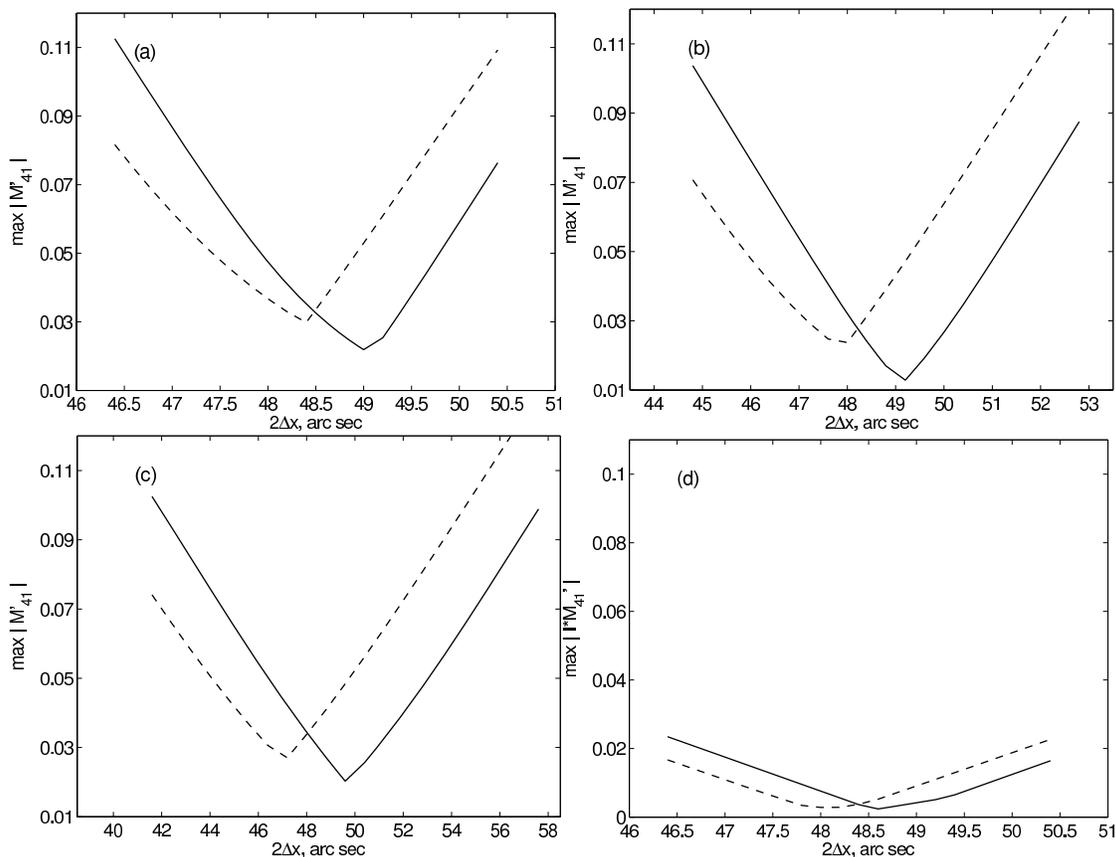


Рис. 21. Зависимость величины паразитного сигнала от величины сдвига для точечного источника на $\lambda = 2$ (a), 4 (b), 8 см (c) и для Солнца на $\lambda = 2$ см (d). $R_W L_E$ — сплошные линии, $R_E L_W$ — штриховые линии.

форма сканов становится несимметричной. При продольном — сохраняется нечетная симметрия сканов, а амплитуда паразитной поляризации на коротких волнах увеличивается в несколько раз.

- Модели паразитной поляризации при стандартной работе антенной системы не объясняют формирование сканов с симметричным увеличением поляризации одного знака к краям, которые регистрируются в наблюдениях. Получить сканы похожей формы можно при несимметричном облучении антенны, например, за счет исключения из работы части элементов главного зеркала. Показано, что в этом случае формируются сканы необходимого вида, но в узкой области параметров: при сильной асимметрии облучения, при смещении диаграммы относительно центра диска по высоте на величину порядка нескольких угловых минут, и только на коротких волнах порядка 2 см и менее.
- Рассмотрены различия диаграмм M_R, M_L при симметричном и несимметричном облучении антенны, и сделаны оценки смещения

их максимумов относительно друг друга. При симметричном облучении максимумы смещены только вдоль оси X на величину порядка нескольких угловых секунд, растущую с ростом λ . При несимметричном — максимумы смещены также и по Y . Величина смещения по Y составляет десятки угловых секунд и на коротких волнах растет с ростом λ . На волнах $\gtrsim 8$ см из-за влияния дифракционных эффектов смещение по Y уменьшается. Направление смещения основных лепестков элемента M_{41} соответствует смещению M_R относительно M_L .

Различия M_R, M_L не сводятся только к их относительному смещению. В дециметровом диапазоне длин волн диаграммы развернуты относительно друг друга. Из-за этого расстояние между максимумами право- и левополяризованного излучения на сканах может зависеть от смещения источника от центра ДН по высоте, что следует учитывать при обработке наблюдений.

- При приеме R и L поляризаций в разных точках фокальной оси вторичного зеркала M_{41}

отличается от соответствующего элемента для случая приема обеих поляризаций в одной точке. При этом его вид и величина зависят от порядка расположения первичных облучателей (перемена местами облучателей R и L влияет на результат), а также меняются в зависимости от λ и величины сдвига сканов при обработке. Сдвиг можно подобрать так, что величина инструментальной поляризации не превысит несколько процентов от максимума сигнала в интенсивности, как и при наблюдениях в одном фокусе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Ю. Н. Парийский и Н. А. Есепкина, Изв. ГАО **188**, 3 (1972).
2. С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Н. А. Есепкина и О. Н. Шиврис, Изв. ГАО **164**, 3 (1960).
3. Г. В. Кузнецова и Н. С. Соболева, Изв. ГАО **172**, 122 (1964).
4. Н. А. Есепкина, Н. Л. Кайдановский, Б. Г. Кузнецов и др., Радиотехника и электроника **6**, 1947 (1961).
5. Н. С. Бахвалов, Л. Г. Васильева, Н. А. Есепкина и др., Астрофиз. исслед. (Изв. САО) **5**, 135 (1973).
6. Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др., Астрофиз. исслед. (Изв. САО) **11**, 182 (1979).
7. А. Н. Коржавин, Сообщ. САО **16**, 43 (1976).
8. Г. Б. Гельфрейх и Н. Г. Петерова, Астрон. ж. **47**, 689 (1970).
9. Н. Г. Петерова, Астрофиз. исслед. (Изв. САО) **7**, 134 (1975).
10. Н. А. Есепкина, В. Ю. Петрунькин, Н. С. Соболева и А. В. Рейнер, Изв. вузов, Радиофизика **14**, 1149 (1971).
11. О. Н. Шиврис, Астрофиз. исслед. (Изв. САО) **12**, 134 (1980).
12. А. Н. Коржавин, Астрофиз. исслед. (Изв. САО) **11**, 170 (1979).
13. Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др., Астрофиз. исслед. (Изв. САО) **15**, 151 (1982).
14. V. M. Bogod, V. I. Garaimov, S. Kh. Tokhchukova and V. A. Shatilov, in *Proceedings of 27 Radioastronomical Conference on Problems of Modern Radioastronomy, St. Petersburg, Russia, 1997*, (IPA, St. Petersburg, 1997), **3**, p.40.
15. В. Н. Боровик, В. Г. Медарь и А. Н. Коржавин, Письма в АЖ **25**, 299 (1999).
16. Н. А. Есепкина, Астрофиз. исслед. (Изв. САО) **4**, 157 (1972).
17. V. I. Abramov, Candidate's Dissertation in Mathematics and Physics (NIRFI, Gorkiy, 1984).
18. Н. А. Есепкина, Н. С. Бахвалов, Б. А. Васильев и др., Астрофиз. исслед. (Изв. САО) **12**, 106 (1980).
19. Е. К. Majorova, Bull. Spec. Astrophys. Obs. **53**, 78 (2002).
20. Е. К. Majorova and L. V. Opeikina, Astrophysical Bulletin **66**, 215 (2011).
21. Е. К. Majorova, Astrophysical Bulletin **66**, 90 (2011).
22. V. M. Bogod, A. M. Alesin, S. V. Baldin, et al., in *Proc. of 9-th Intern. Conf. in Pulkovo on Solar Physics* (GAO RAN, St. Petersburg, 2005), p.627.
23. V. M. Bogod, A. M. Alesin, and A. A. Pervakov, Astrophysical Bulletin **66**, 205 (2011).
24. В. М. Богод, С. И. Болдырев, В. А. Зуева и др., *Результаты наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600 в диапазоне волн 0.8–31.6 см. 1984 г.* (Материалы Мирового Центра Данных Б, Москва, 1992).
25. Н. М. Липовка и А. А. Стоцкий, Изв. ГАО **188**, 238 (1972).

POLARIZATION EFFECTS IN RATAN-600 SOLAR OBSERVATIONS IN THE “SOUTHERN SECTOR WITH A FLAT REFLECTOR” MODE

L. V. Opeikina, E. K. Majorova, A. N. Korzhavin

We report the results of numerical simulations of the instrumental signal in the the Stokes V channel of circular polarization as observed by RATAN-600 radio telescope operating in the “Southern sector with a flat reflector” mode. Our simulations are based on an improved algorithm of the power-beam pattern computation that takes into account diffraction in the space between the telescope mirrors. The computations cover a wide range of wavelengths in the case of a focused antenna and in the presence of aberrations. We analyze the structure and properties of the element M_{41} of the Mueller matrix and of the parasite signal from the solar disk in two cases of the antenna irradiation. We estimate the differences between the left- and right-polarization power-beam patterns of the telescope. We report the computed M_{11} and M_{41} elements for the case of observation of the right- and left-polarized radiation at different points of the focal plane of the secondary mirror, and analyze their variations as a function of a number of parameters, including, in particular, the shift applied to correct the displacement of scans.

Keywords: *instruments: radio astronomy—methods: observational*