Российская академия наук
Специальная астрофизическая обсерватория

“УТВЕРЖДАЮ”
Директор САО РАН
Балега Ю.Ю.
"__"________ 2002 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ РАТАН-600

Листов 55

Старший научный сотрудник, к.ф.м.н., Майорова Е.К.
Зав. лабораторией
радиоастрономических наблюдений, д.ф.м.н., Трушкин С.А.

Нижний Архыз
2002

Реферат

Представлены результаты исследования диаграммы направленности (ДН) антенны радиотелескопа РАТАН-600, выполненные с помощью наблюдений ярких дискретных источников. Измерения проведены в диапазоне длин волн от 1.4 до 49 см на высотах источников от 10 до 90 градусов и впервые в достаточно большом телесном угле. Главный лепесток ДН измерен до уровня 0.5% - 2 % от максимума. Проведено сравнение расчетных и экспериментальных ДН в различных горизонтальных сечениях. Показано, что новый расчет ДН, учитывающий дифракционные эффекты и конечный размер ширины кольца главного зеркала РАТАН-600, лучше совпадает с данными измерений, чем ранние расчеты. Показано, как будет меняться структура ДН на далеких сечениях при изменении величины и характера распределения ошибок в установках отражающих элементов главного зеркала. Измерены аберрационные кривые, описывающие падение сигнала при наблюдениях с поперечными выносами рупора из фокуса антенны. Расчетные аберрационные кривые хорошо совпали с результатами измерений. Проведено сравнение кривых прохождения Луны со свертками двумерной расчетной ДН с равномерным диском угловых размеров Луны, оценена среднеквадратичная ошибка установки элементов главного зеркала. Она составила 0.55 ± 0.05 мм.

Принимая во внимание хорошее совпадение теоретического электродинамического расчета ДН с данными измерений, можно рекомендовать его для проведения моделирования астрофизических экспериментов на РАТАН-600 и для включения этого уточненного счета ДН в систему обработки текущих наблюдений.

Содержание

1 Введение

Измерения потоков и распределений радиояркости протяженных космических источников, обработка данных глубоких обзоров и исследование анизотропии реликтового фона требуют точного знания диаграммы направленности (ДН) радиотелескопа в большом телесном угле и во всем рабочем диапазоне длин волн.

Антенна радиотелескопа РАТАН-600 относится к многоэлементным антеннам рефлекторного типа – антеннам переменного профиля. Форма и ширина ДН такой антенны существенно меняются в зависимости от высоты наблюдаемого источника, так что невозможно провести измерение ДН РАТАН-600 для всех возможных конфигураций антенны. Более логичным представляется использовать расчетные ДН, проверив их соответствие измеренным. Для измерений диаграмм направленности использовался радиоастрономический метод исследования с помощью наблюдений ярких точечных космических источников (Кузьмин и Соломонович, 1964). Ранее этот метод был применен Темировой (1983, 1985) для измерения горизонтальных и вертикальных сечений ДН на волнах 3.9 и 8.2 см. Построенные ею экспериментальные зависимости полуширин ДН от высоты наблюдаемого источника хорошо совпали с расчетными, за исключением низких высот.

После того, как был разработан более точный метод расчета ДН (Майорова, 2002), учитывающий дифракционные эффекты в пространстве между главным и вторичным зеркалами, мы решили вернуться к этому вопросу и протестировать расчет ДН в более широком телесном угле и диапазоне длин волн (1.4 - 49 см) как в режиме сфокусированной антенны, так и при наличии аберраций. Надо заметить, что и антенна существенно изменилась с 80 гг. Был увеличен вертикальный размер отражающих элементов главного зеркала за счет закрылок с 7.4 м до 11.4 м. Установка антенны на источник теперь выполнется с помощью автоматической системы управления (АСУ). Появились новые высокочувствительные радиометры, расширился рабочий диапазон длин волн. Мы полагали, что измерения ДН смогут дать новую информацию о состоянии антенны и ее характеристиках. Для исследования слабого рассеянного фона вокруг главного лепестка ДН телескопа предполагалось провести наблюдения Луны.

2 Измерения

Измерения ДН Северного сектора радиотелескопа РАТАН-600 проводились в трех циклах наблюдений (февраль-март 2001 г., октябрь 2001 г., апрель 2002 г.). Источники наблюдались в верхней кульминации в режиме прохождения источника через неподвижную ДН телескопа. Плотности потоков источников превышали 3 Ян. В качестве измерительной аппаратуры использовался высокочувствительный радиометрический комплекс облучателя N1, чувствительность радиометров которого составляет 3 mK на волнах 2.7 и 3.9 см, 2.5 mK — на волне 7.6 см, 8 mK — на волне 13 см, 15 и 20 mK — на волнах 31 и 49 см соответственно. Таким образом при эффективной площади около 1000 м^2 в одном наблюдении было реализовано высокое отношение сигнал/шум даже на далеких от центрального сечениях. В процессе наблюдений регистрировались кривые прохождения точечных источников через различные горизонтальные сечения ДН и проводилась их первичная обработка. Дальнейшая обработка записей сводилась к приведению их к антенным температурам, вычитанию фона и нормировке.

Поскольку угловые размеры наблюдаемых источников много меньше ширины ДН, отклик антенны на выходе радиометра с точностью до множителя совпадает с ДН радиотелескопа (F) в заданном сечении. Наблюдались прохождения источников с высотой H над горизонтом через горизонтальные сечения ДН, отстоящие по высоте от центрального горизонтального сечения на величину ΔH.

Чтобы охватить весь диапазон высот, были выбраны следующие источники: PKS 0521–36 ($H = 9.8°$), PKS 1830−21 ($H = 25.1°$), 3C 161 (0624−05) ($H = 40.3°$), 3C 273 (1226+02) ($H = 48.2°$), 3C 454.3 (2251+158) ($H = 62.3°$), 3C 123 (0433+29) ($H = 75.8°$), TXS2005+403 ($H = 86°$), 3C84 (0316+41) ($H = 87.7°$).

По результатам наблюдений были построены зависимости $F_{max}(\Delta H)$, где F_{max} — максимальное значение ДН в сечении $H + \Delta H$, нормированное к максимуму ДН в центральном сечении $\Delta H = 0$. Поскольку приемные рупора располагаются вдоль фокальной линии вторичного зеркала, в процессе одного наблюдения регистрировались сечения ДН сразу на нескольких длинах волн. В зависимости от расположения приемного рупора относительно фокуса антенной системы измерялись ДН как сфокусированной антенны, так и антенны с аберрациями. Аберрации определяются величиной поперечного выноса (Δ) приемного рупора из фокуса антенны.

3 Результаты измерений ДН

В наблюдениях в феврале-марте 2001 г. проводились измерения ДН на волнах λ2.7, 3.9, 7.6, 13 и 31 см и высотах $H = 25.1°$ (PKS 1830−21) и 86° (TXS2005+403). В фокусе антенны размещался приемный рупор на волну 7.6 см (Δ=0), рупор на волну 2.7 см был вынесен из фокуса на 9.4λ, на волну 3.9 см — на 7.8λ, на волну 13 и 31 см — соответственно на 4.6λ и 1.9λ. На Рис.1 квадратами показаны данные измерений F_{max}, сплошными линиями — зависимости $F_{max}(\Delta H)$, рассчитанные с учетом дифракционных эффектов в зоне Френеля и конечной ширины кольца главного зеркала (Майорова, 2002), пунктирными линиями — зависимости $F_{max}(\Delta H)$, рассчитанные по программе Коржавина (1979) (формулы для расчета получены Есепкиной и др. (1979)). Для сфокусированной антенны зависимости $F_{max}(\Delta H)$ являются вертикальными ДН радиотелескопа, так как максимумы кривых прохождения лежат в одной вертикальной плоскости. При наличии поперечных аберраций максимумы кривых прохождения лежат в разных вертикальных плоскостях.

Из Рис.1 видно, что экспериментальные точки, полученные для высот $H = 25°$ и 86°, хорошо согласуются с кривыми $F_{max}(\Delta H)$, рассчитанными по программе Майоровой (2002). Для $H = 86°$ расчеты по программе Коржавина также дают хорошее согласие с экспериментом и практически совпадают с результатами расчета по новой программе, для $H = 25°$ кривые, рассчитанные по программе Коржавина, имеют расхождения с экспериментальными точками, причем расхождения растут с увеличением выноса приемного рупора из фокуса антенны.

На Рис.2-8 приведены кривые прохождения источников PKS 1830–21 и TXS 2005+403 вдоль горизонтальных сечений ДН (черные линии) и расчетные сечения ДН (красные линии) с учетом дифракционных эффектов. Кривые прохождения нормированы к максимуму сигнала в центральном сечении. На этих рисунках и приведенных ниже графиках, где показаны кривые прохождения источников, используется шкала времени (Прямое восхождение). Временные секунды (sec) пересчитываются обычным образом в угловые секунды ($\times 15 \cos\delta$), высоты источника равны $H = 90 - \phi + \delta + Ref$, где δ – видимое склонение источника, ϕ – широта РАТАН-600, Ref – радиорефракция.

На коротких волнах ($\lambda \leq 7.6$ см) сечения ДН были измерены вплоть до уровней 0.02-0.05 от $F_{max}(0)$. Получено хорошее согласие экспериментальных и расчетных кривых. К сожалению, из-за недостатка наблюдательного

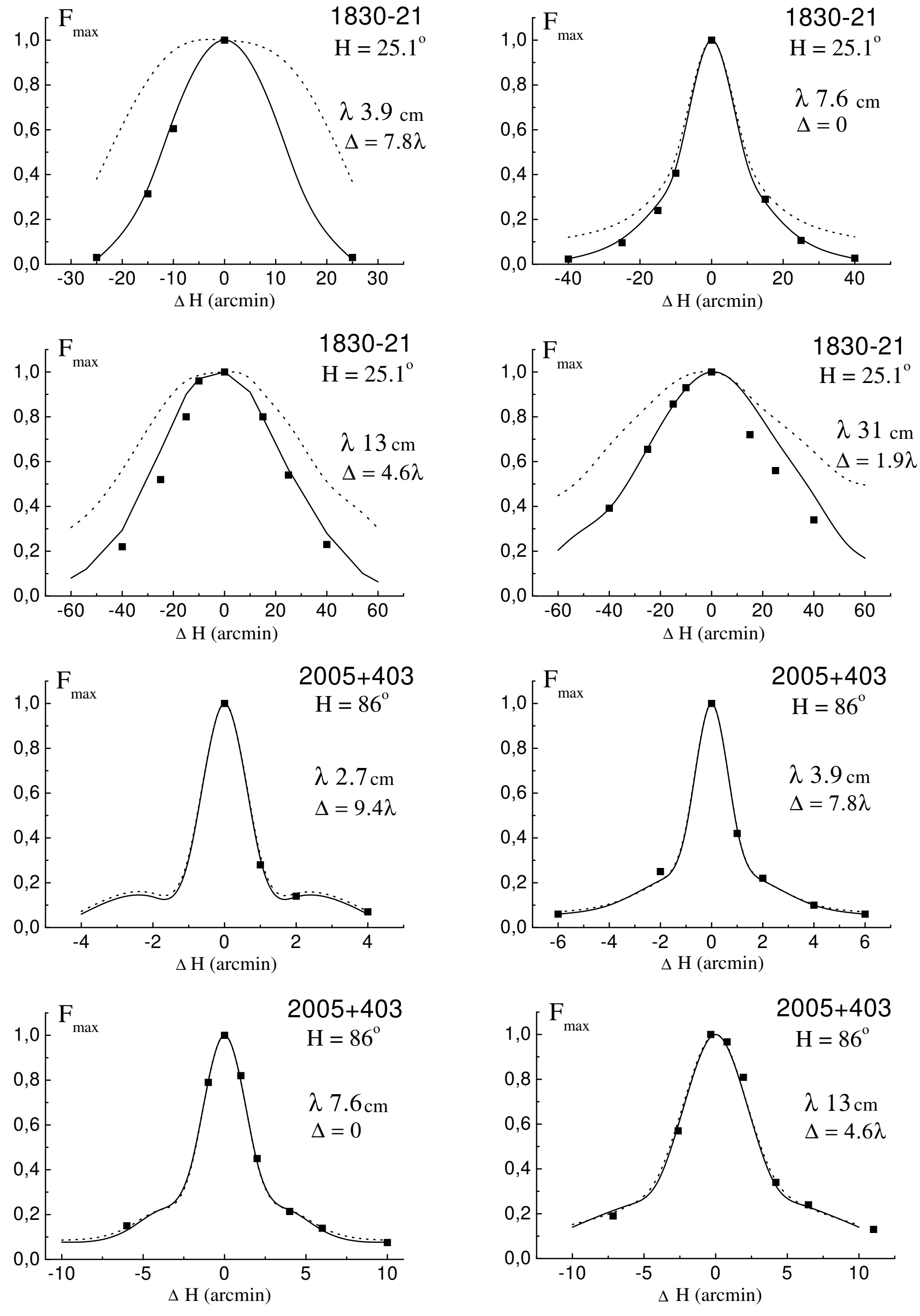

Рис. 1: Зависимости максимальных значений ДН в различных горизонтальных сечениях F_{max} от величины выноса этого сечения по высоте относительно центрального сечения (ΔH). Квадратами показаны данные измерений в феврале-марте 2001 г., сплошными линиями — расчет Майоровой (2002), пунктирными линиями — расчет по программе Коржавина (1979). Все значения F_{max} нормированы к максимуму ДН в центральном сечении.

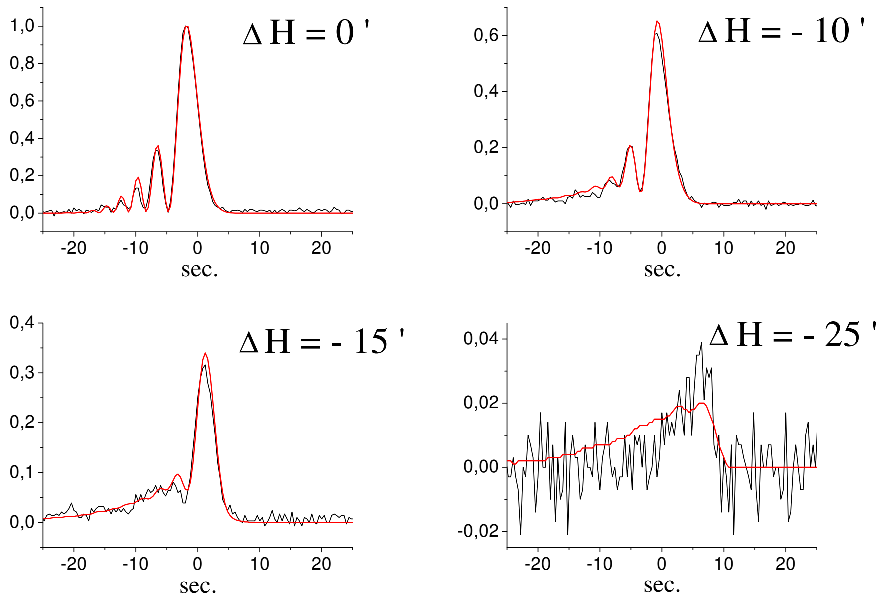

Рис. 2: Кривые прохождения точечного источника PKS 1830–21 (H=25°08′) на волне λ3.9 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в феврале-марте 2001 г. Вынос $\Delta = 7.8\lambda$.

времени ДН в этом цикле измерены только на двух высотах, экспериментальные зависимости $F_{max}(\Delta H)$ на волнах λ13, 31 см ($H = 25°$) получены только до уровней 0.2-0.3 $F_{max}(0)$ и имеют некоторые расхождения с расчетными кривыми, вероятно, обусловленные малым числом наблюдений.

В наблюдениях в октябре 2001 г. измерения ДН проводились на волнах λ3.9-49 см в более широком диапазоне телесных углов. При наблюдениях источников PKS 0521–36 ($H = 9.8°$), 3C 161 (0624–05) ($H = 40.3°$), 3C 454.3 (2251+158) ($H = 62.3°$), 3C 123 (0433+29) ($H = 75.8°$), 3C84 (0316+41) ($H = 87.7°$) в фокусе антенны располагались рупора с совмещенным фазовым центром на волны λ13, 31 и 49 см, при наблюдениях источников PKS 1830–21 ($H = 25.1°$) и 3C 273 (1226+02) ($H = 48.2°$) — рупор на волну λ7.6 см. Наблюдения на волнах λ7.6, 13, 31 и 49 см проводились в однолучевом режиме, на волне 3.9 см — в двухлучевом режиме с диаграмной модуляцией.

На Рис.9-13 квадратами показаны данные измерений F_{max} и сплошными линиями — зависимости $F_{max}(\Delta H)$, рассчитанные с учетом дифракционных эффектов в зоне Френеля. Как видно из Рис.9-13, практически во всем рассматриваемом диапазоне высот и длин волн экспериментальные точки достаточно хорошо ложатся на расчетные кривые. Однако, более детальный анализ кривых показывает, что для большинства высот имеется смещение экспериментальных зависимостей относительно расчетных в область отрицательных ΔH (на $1' \div 1.5'$). Более наглядно этот эффект проявляется при сравнении экспериментальных кривых прохождения источников через различные горизонтальные сечения ДН с соответствующими расчетными сечения ДН (Рис.14-30).

На Рис.14-30 кривые прохождения точечных источников через различные горизонтальные сечения ДН показаны черными линиями, сечения, рассчитанные по программе Майоровой (2002) — красными линиями. Высоты источников $H = 9.8°, 40.3°, 62.7°, 87.7°$. Для удобства сравнения экспериментальные и расчетные кривые нормированы к максимуму ДН в центральном сечении. Кривые прохождения регистрировались в сечениях, симметричных относительно центрального сечения ДН, на волнах $\lambda 31$, 13, 7.6, 3.9 см при различных выносах приемного рупора из фокуса.

Из сравнения экспериментальных и расчетных кривых видно, что в первом приближении форма их хорошо совпадает. Есть сечения, где совпадение соблюдается в пределах 2-3 σ от шумов системы. Однако есть сечения, в которых расхождение экспериментальных и расчетных кривых весьма существенно.

Наблюдается устойчивая закономерность в поведении расчетных и экспериментальных кривых: для сечений с положительными ΔH величина максимумов экспериментальных кривых ${F^E}_{max}$ меньше или совпадает со значениями максимумов расчетных кривых ${F^R}_{max}$, для сечений с отрицательными ΔH наблюдается обратная картина: ${F^E}_{max} \geq {F^R}_{max}$. В наблюдениях в феврале-марте 2001 г. такой асимметрии ДН не наблюдалось, по крайней мере, на коротких волнах. Кроме того, на высоких углах ($H \geq 62°$) и волнах $\lambda \leq 7.6$ см произошло изменение структуры ДН на далеких сечениях. На волне $\lambda 3.9$ см кривые прохождения в сечениях $\Delta H = \pm 4' \div \pm 10'$ приобрели мелкомасштабную структуру. На волне $\lambda 7.6$ см ($H = 87.7°$) наиболее существенные различия в структуре ДН по сравнению с расчетной проявились в сечениях $\Delta H = \pm 10,\ \pm 20'$, однако, на более далеких сечениях кривые прохождения оказались гораздо ближе к расчетным, если сгладить шумовую составляющую.

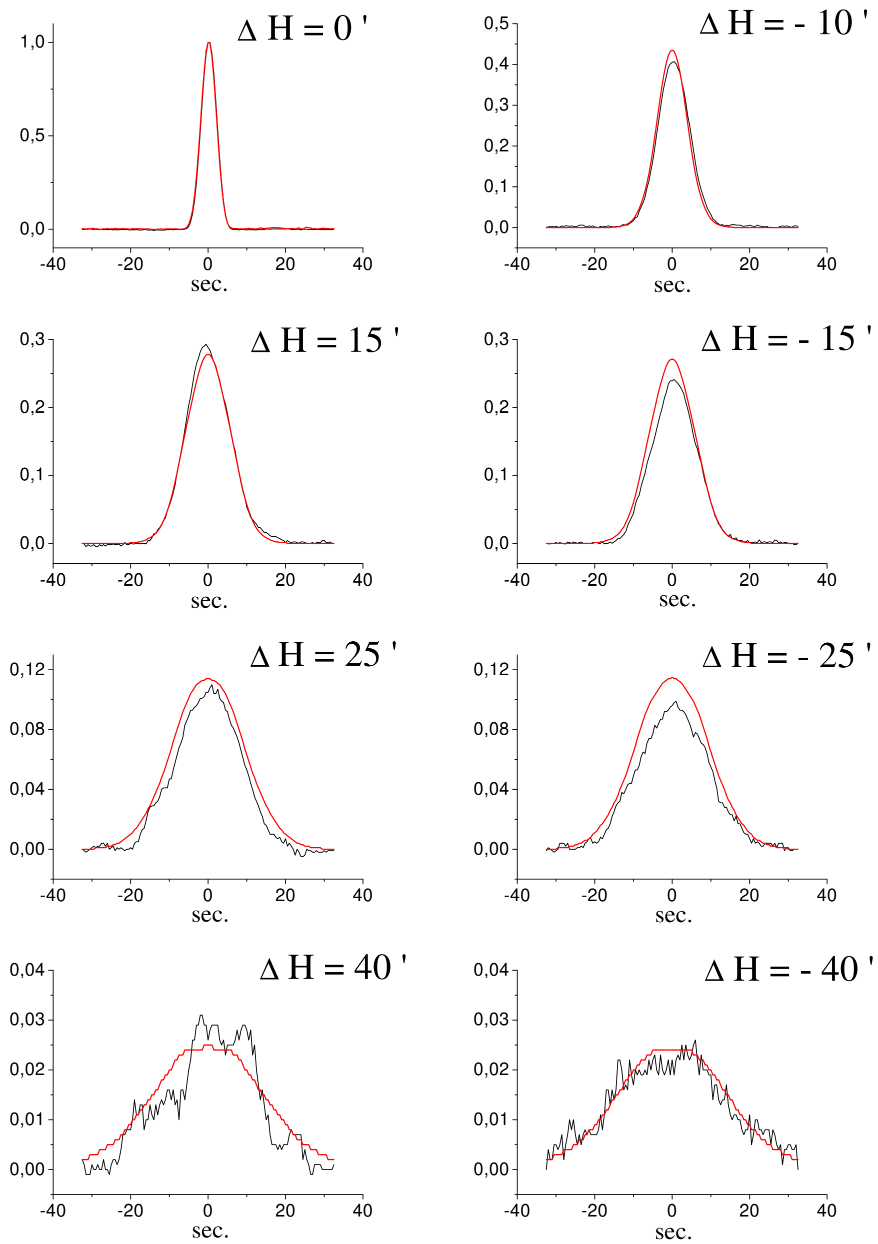

Рис. 3: Кривые прохождения точечного источника PKS 1830–21 (H=25°08′) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в феврале-марте 2001 г. Вынос $\Delta = 0$.

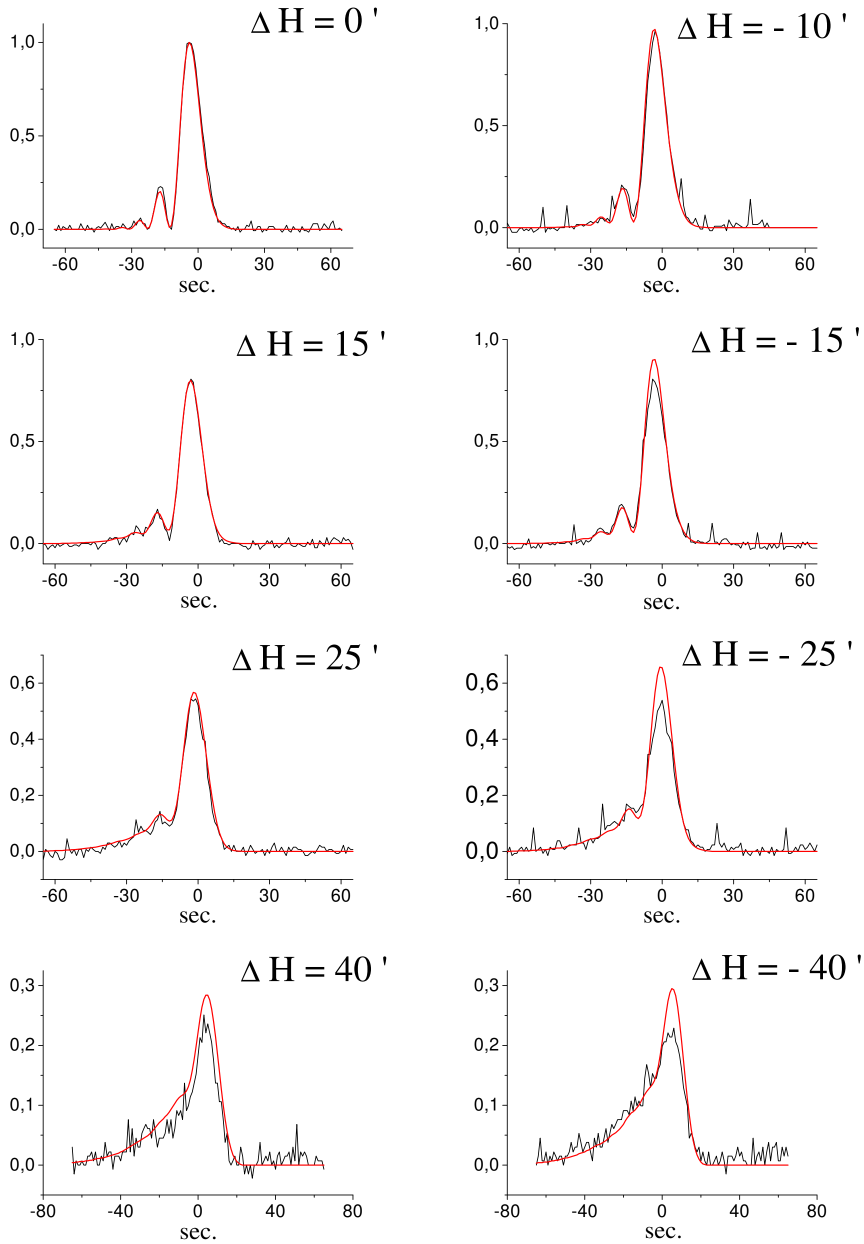

Рис. 4: Кривые прохождения точечного источника PKS 1830–21 (H=25°08′) на волне λ13 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в феврале-марте 2001 г. Вынос $\Delta = 4.6\lambda$.

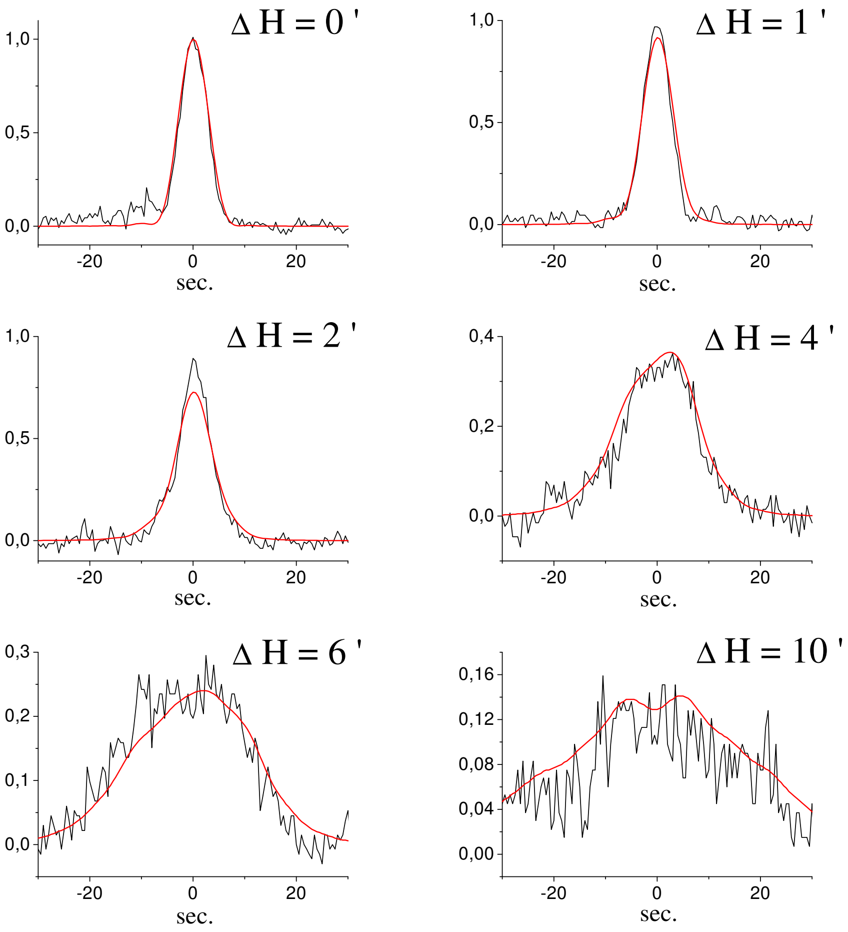

Рис. 5: Кривые прохождения точечного источника TXS2005+403 (H=86°40′) на волне λ13 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в феврале-марте 2001 г. Вынос $\Delta = 0$.

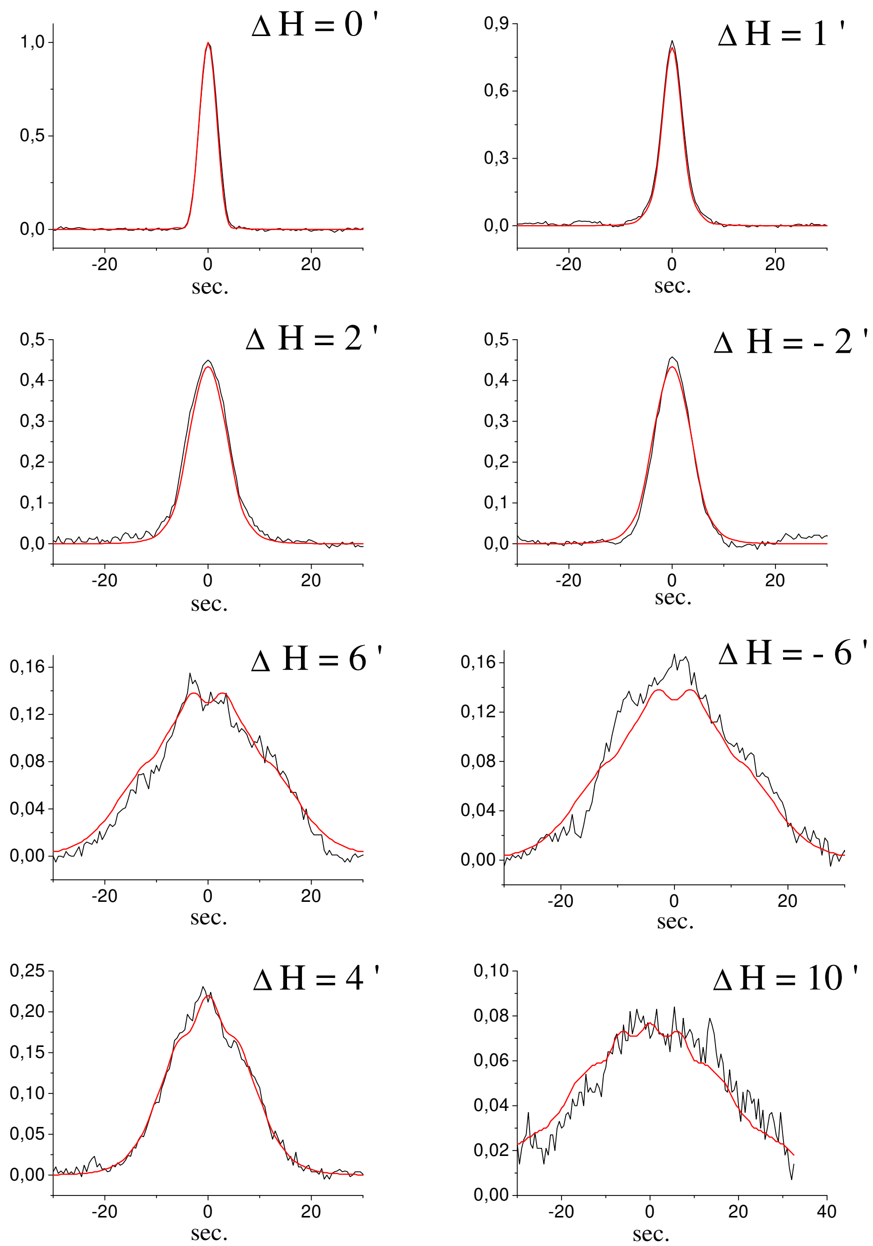

Рис. 6: Кривые прохождения точечного источника TXS2005+403 (H=86°40′) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в феврале-марте 2001 г. Вынос $\Delta = 0$.

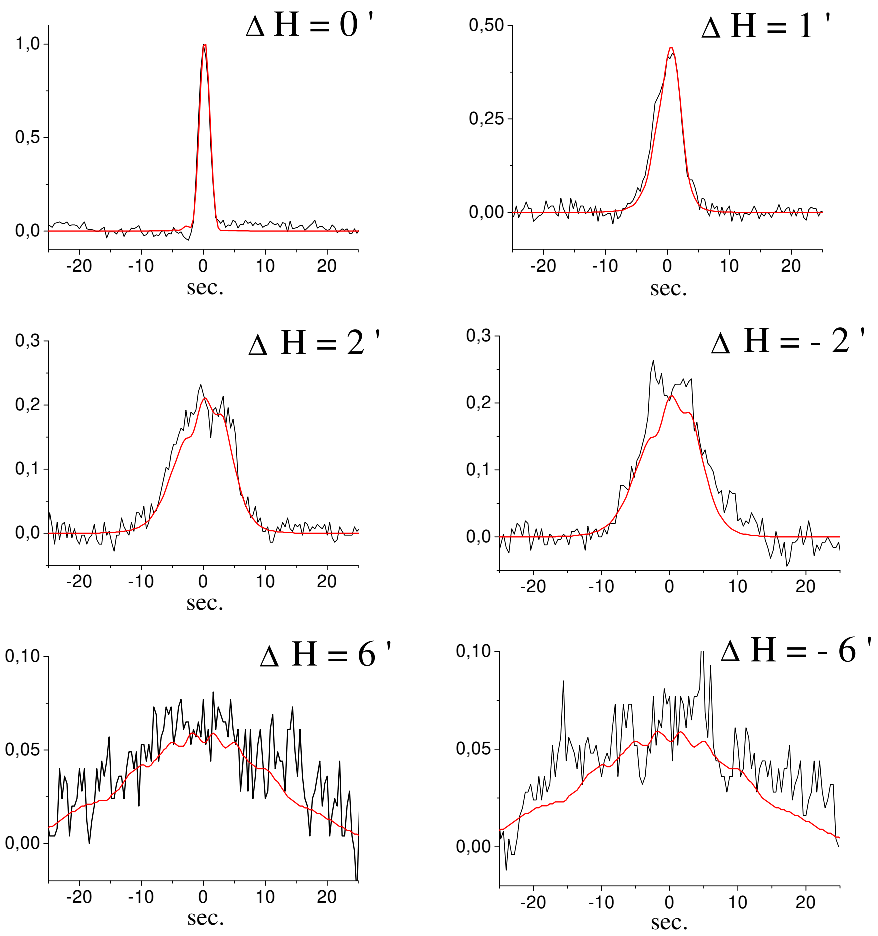

Рис. 7: Кривые прохождения точечного источника TXS2005+403 (H=86°40′) на волне λ3.9 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в феврале-марте 2001 г. Вынос $\Delta = 7.8\lambda$.

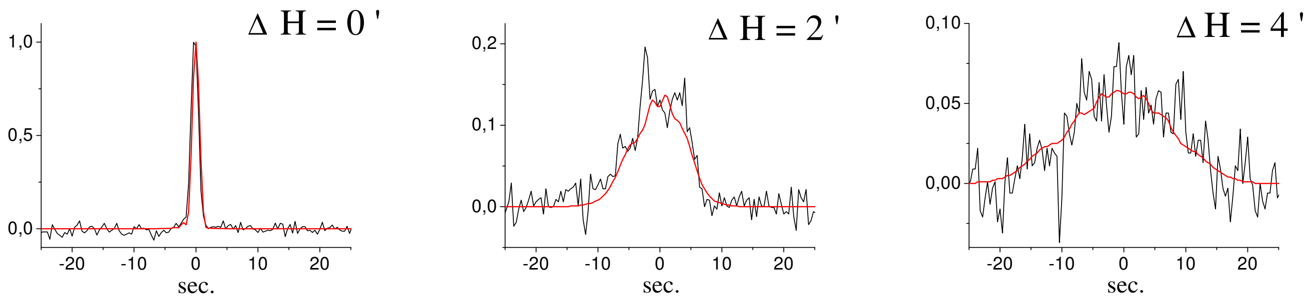

Рис. 8: Кривые прохождения точечного источника TXS2005+403 (H=86°40′) на волне λ2.7 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в феврале-марте 2001 г. Вынос $\Delta = 5.8\lambda$.

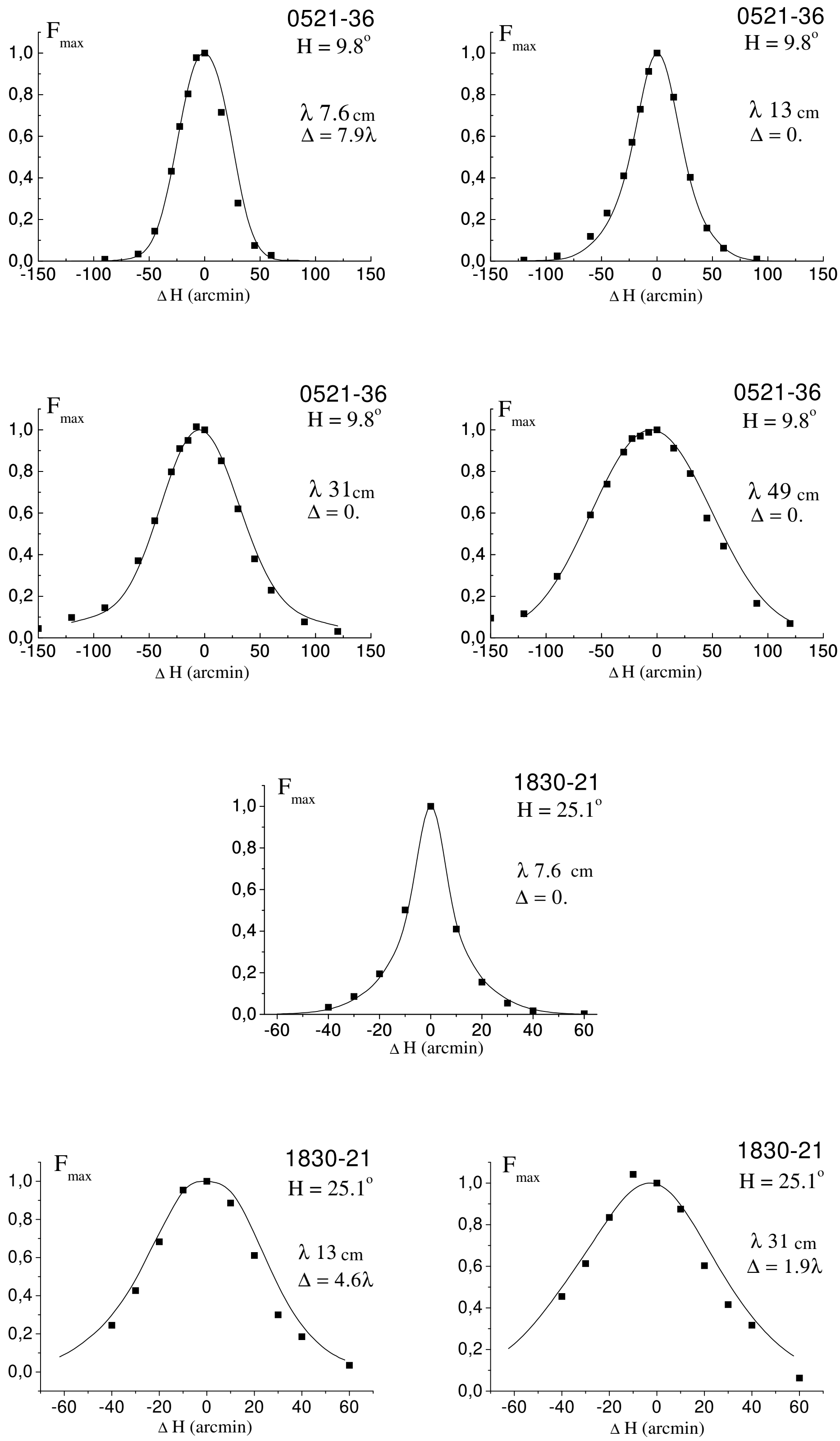

Рис. 9: Зависимости $F_{max}(\Delta H)$. Квадратами показаны данные измерений по наблюдениям в октябрь 2001 г., сплошными линиями — расчет ДН по программе Майоровой (2002).

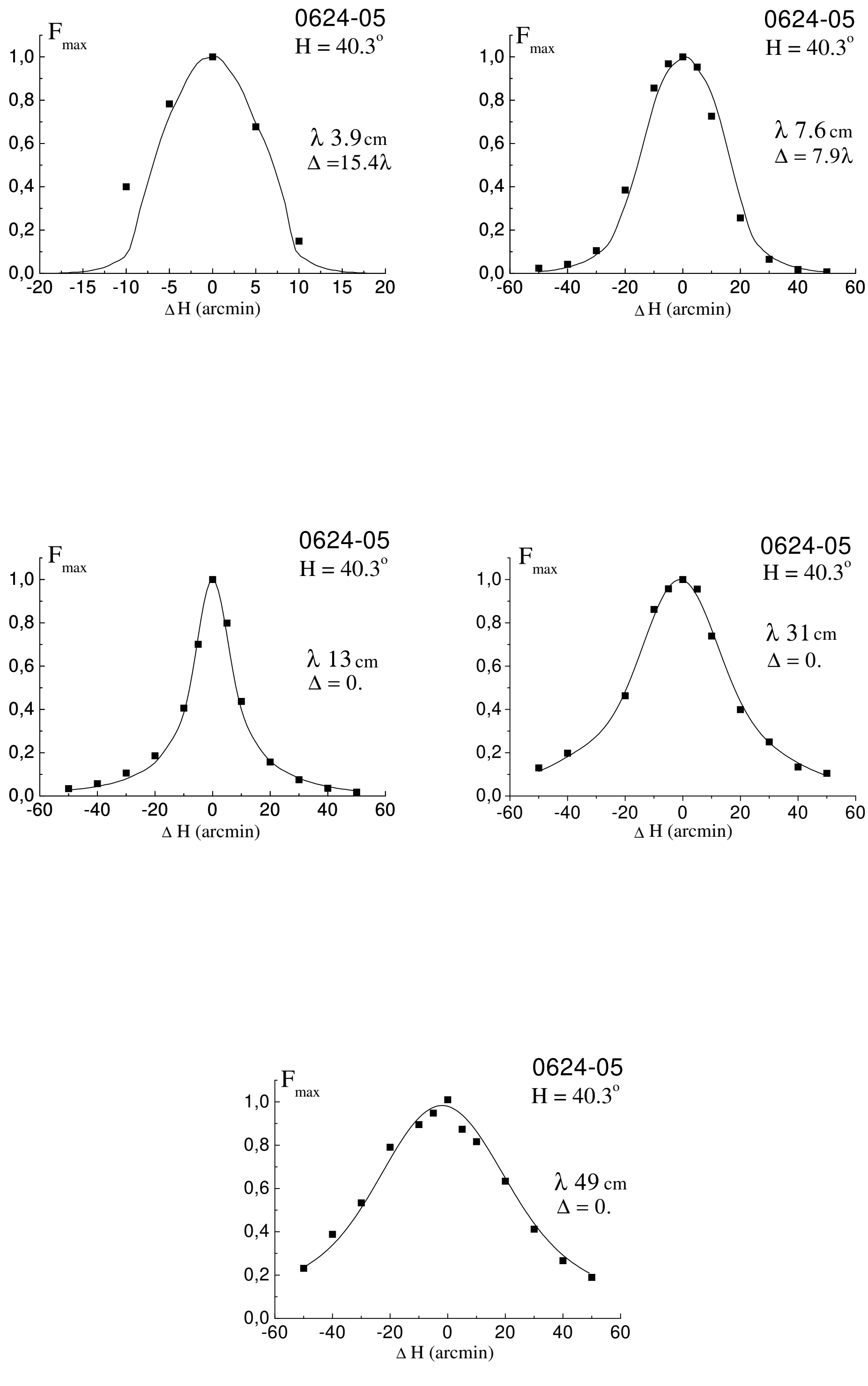

Рис. 10: Зависимости $F_{max}(\Delta H)$. Квадратами показаны данные измерений по наблюдениям в октябрь 2001 г., сплошными линиями — расчет ДН по программе Майоровой (2002).

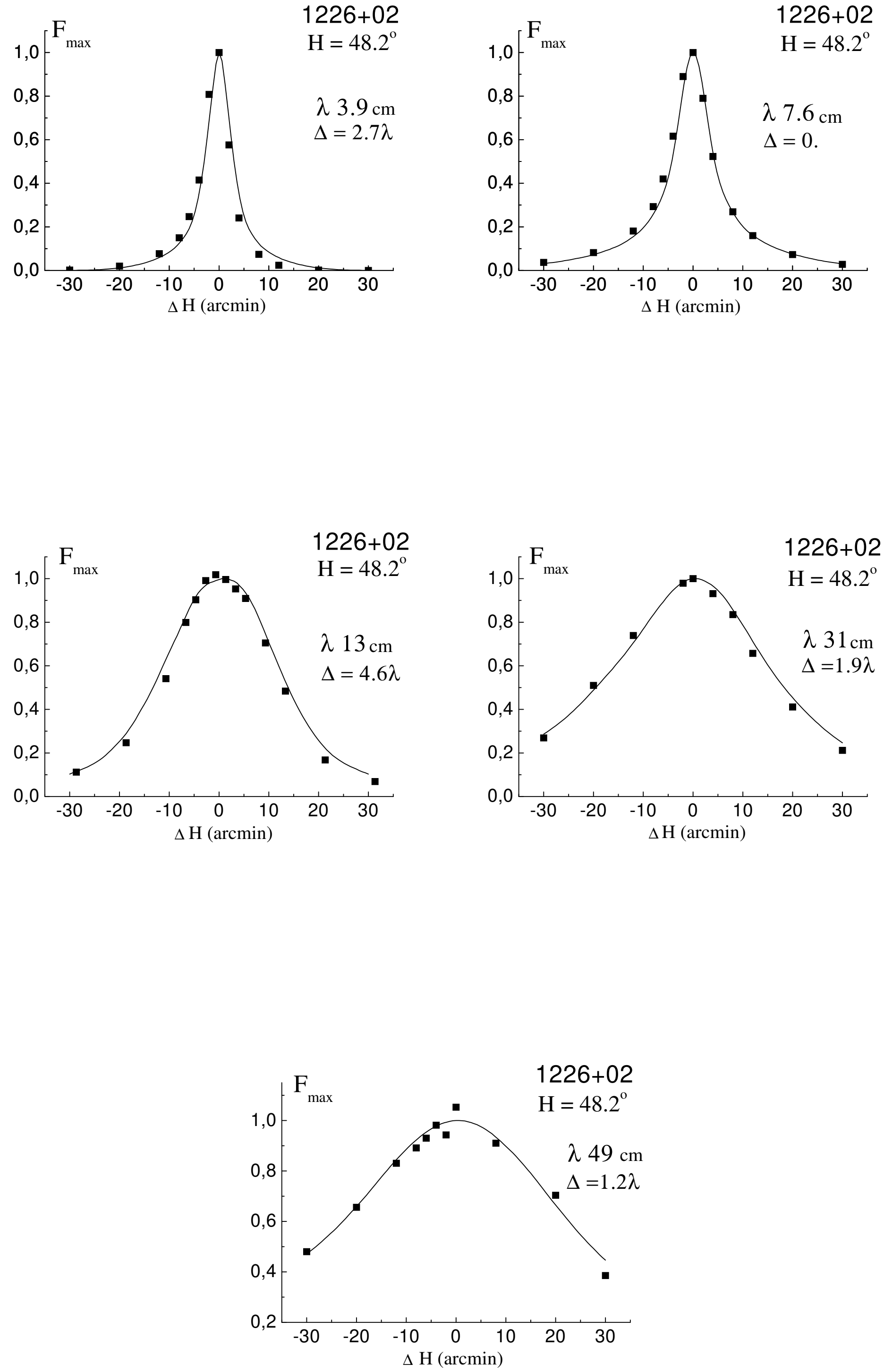

Рис. 11: Зависимости $F_{max}(\Delta H)$. Квадратами показаны данные измерений по наблюдениям в октябрь 2001 г., сплошными линиями — расчет ДН по программе Майоровой (2002).

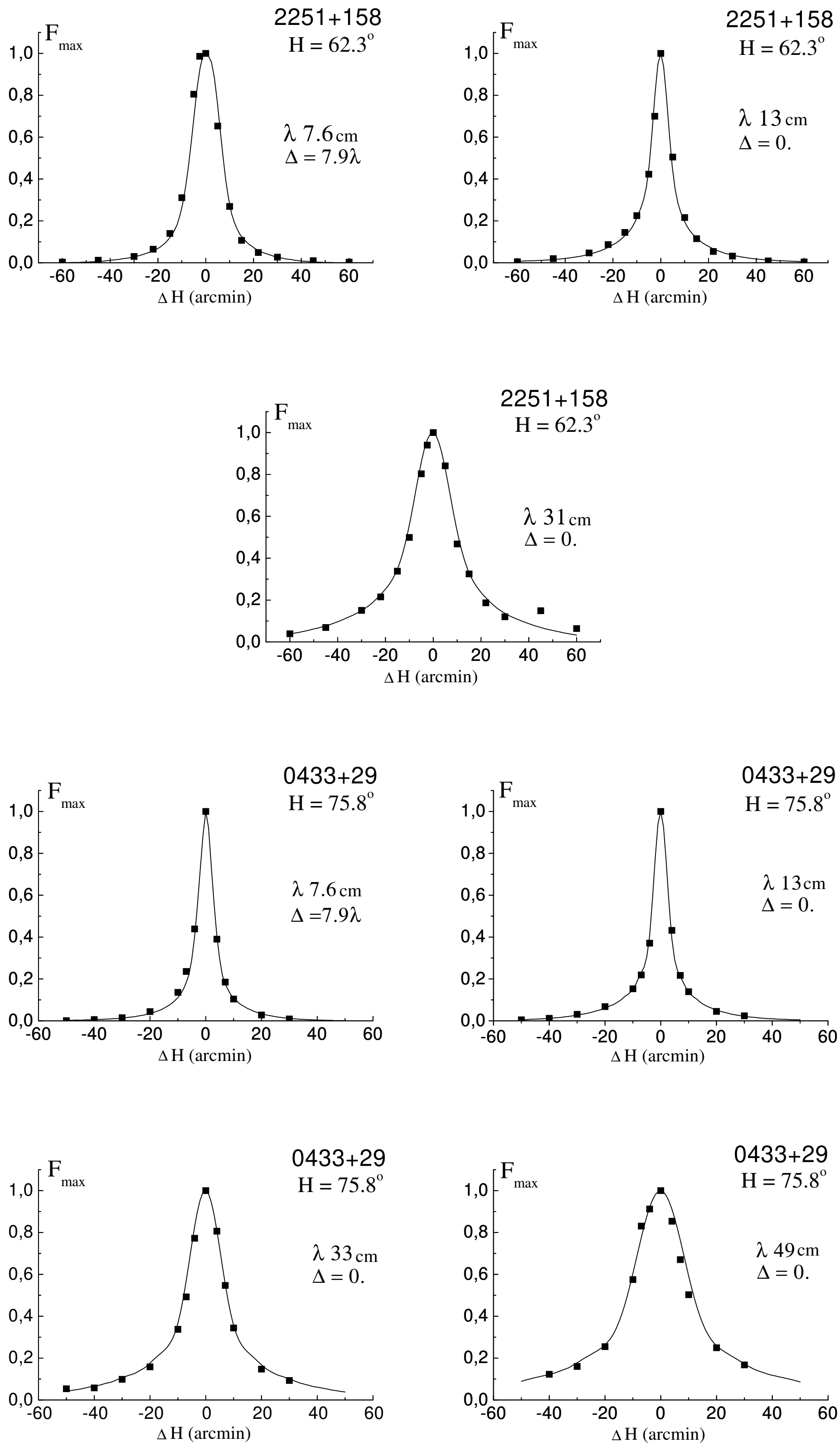

Рис. 12: Зависимости $F_{max}(\Delta H)$. Квадратами показаны данные измерений по наблюдениям в октябрь 2001 г., сплошными линиями — расчет ДН по программе Майоровой (2002).

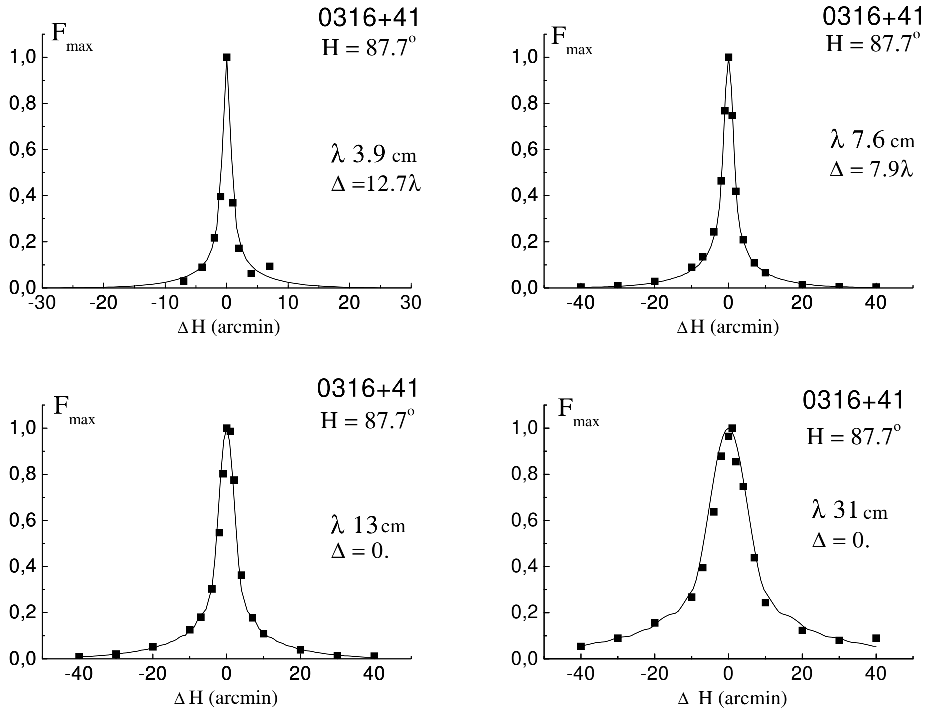

Рис. 13: Зависимости $F_{max}(\Delta H)$. Квадратами показаны данные измерений по наблюдениям в октябрь 2001 г., сплошными линиями — расчет ДН по программе Майоровой (2002).

По данным наблюдений этого цикла были построены экспериментальных двумерные ДН на волнах $\lambda 13$ и 7.6 см. На Рис.31 эти ДН представлены в виде изофот 0.01, 0.018, 0.032, 0.056, 0.1, 0.18, 0.32, 0.56. ДН нормированы к максимуму в центральном сечении. При построении экспериментальных двумерных ДН использовались кривые прохождения источников через равноотстоящие друг от друга сечения.

В апреле 2002 г. на Северном секторе РАТАН-600 были повторно проведены измерения ДН по источнику 3C 84(0316+41) ($H = 87.7°$) на волне $\lambda 7.6$ см. За месяц до наблюдений на этом секторе была проведена автоколлимационная юстировка. Поскольку с момента юстировки прошло сравнительно немного времени (для сравнения, наблюдения в феврале-марте 2001 г. проводились через 4 месяца, а наблюдения в октябре 2002 г. – через 6 месяцев после юстировки антенны), предполагалось измерить ДН РАТАН-600 при качественной поверхности главного зеркала и сравнить результаты измерений с результатами, полученными в предыдущем цикле. Повторно были проведены наблюдения в сечениях $\Delta H = \pm 10', \pm 20', \pm 30'$. Кривые прохождения, соответствующие этим сечениям, показаны на Рис.32 и 33 черными линиями. Красными линиями показаны расчетные ДН в этих сечения.

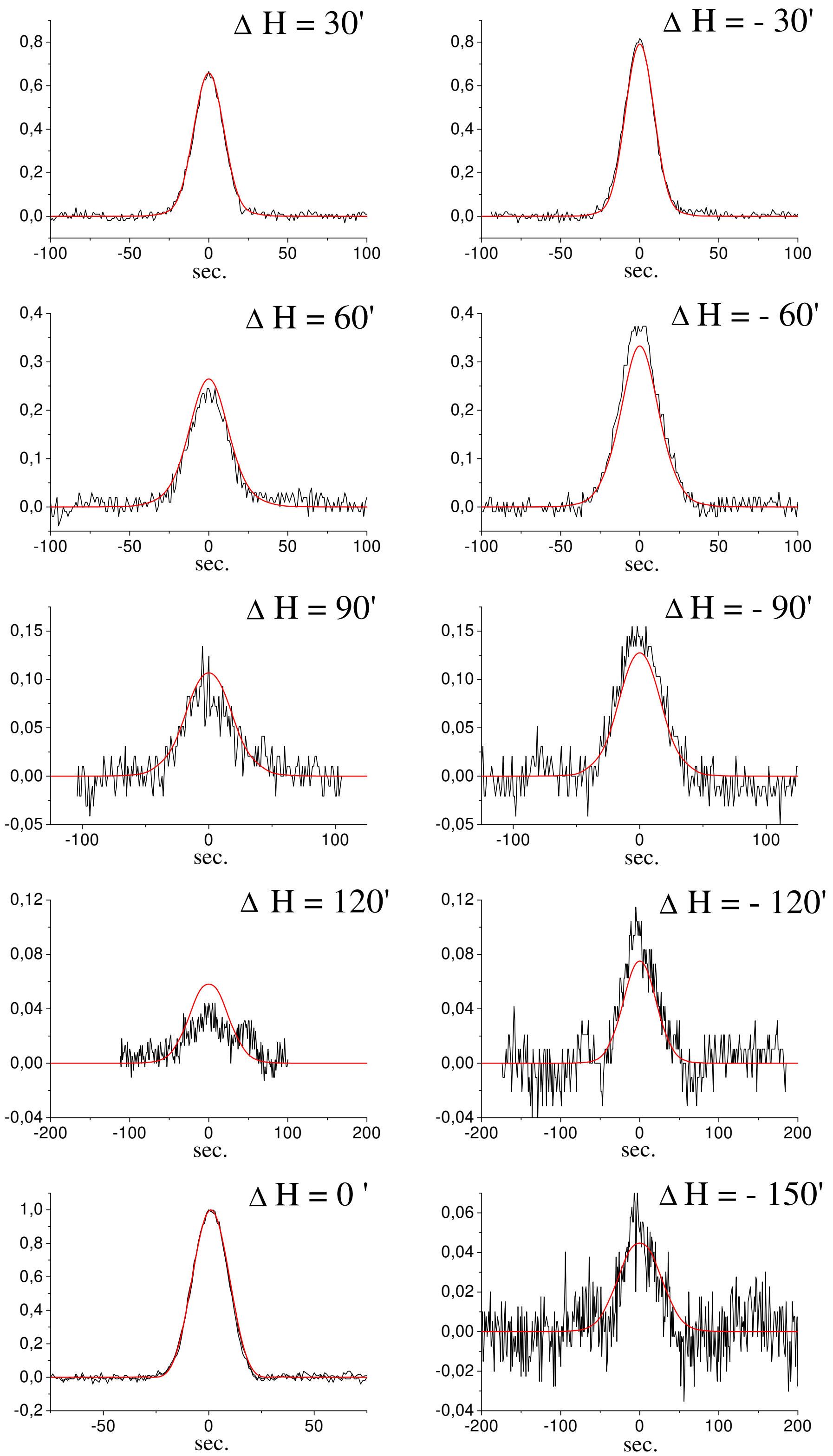

Рис. 14: Кривые прохождения точечного источника PKS 0521–36 (H=09°50′) на волне λ31 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 0$.

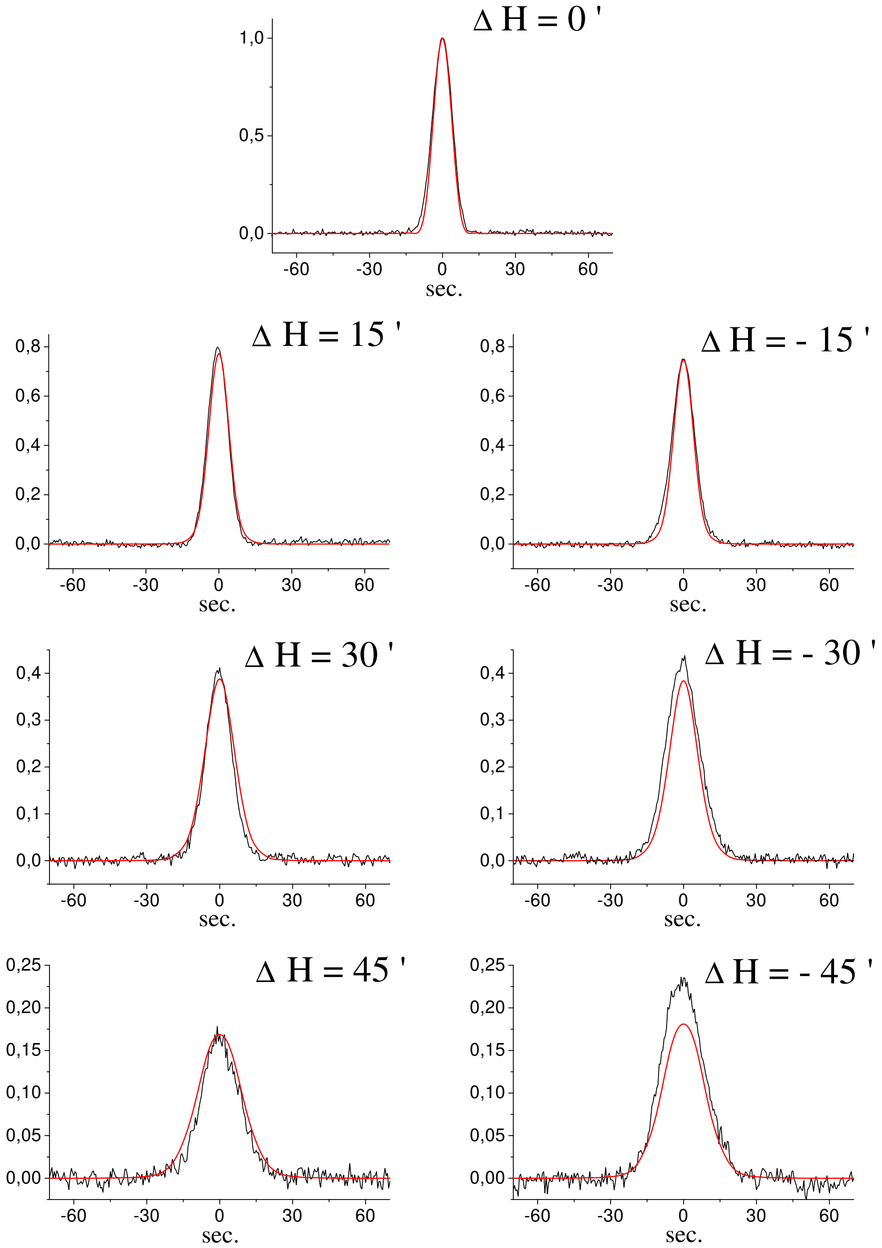

Рис. 15: Кривые прохождения точечного источника PKS 0521–36 (H=09°50′) на волне λ13 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 7.9\lambda$.

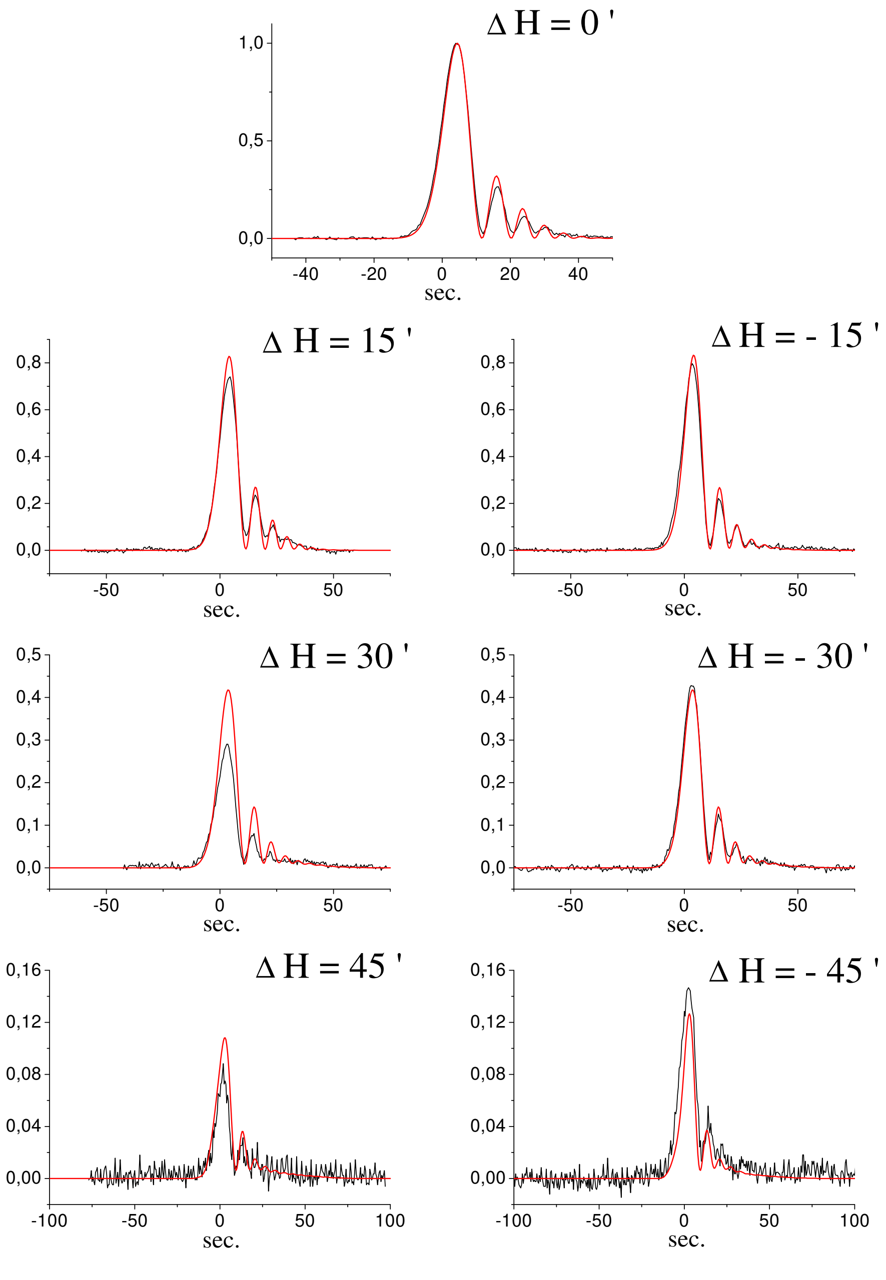

Рис. 16: Кривые прохождения точечного источника PKS 0521–36 (H=09°50′) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 7.9\lambda$.

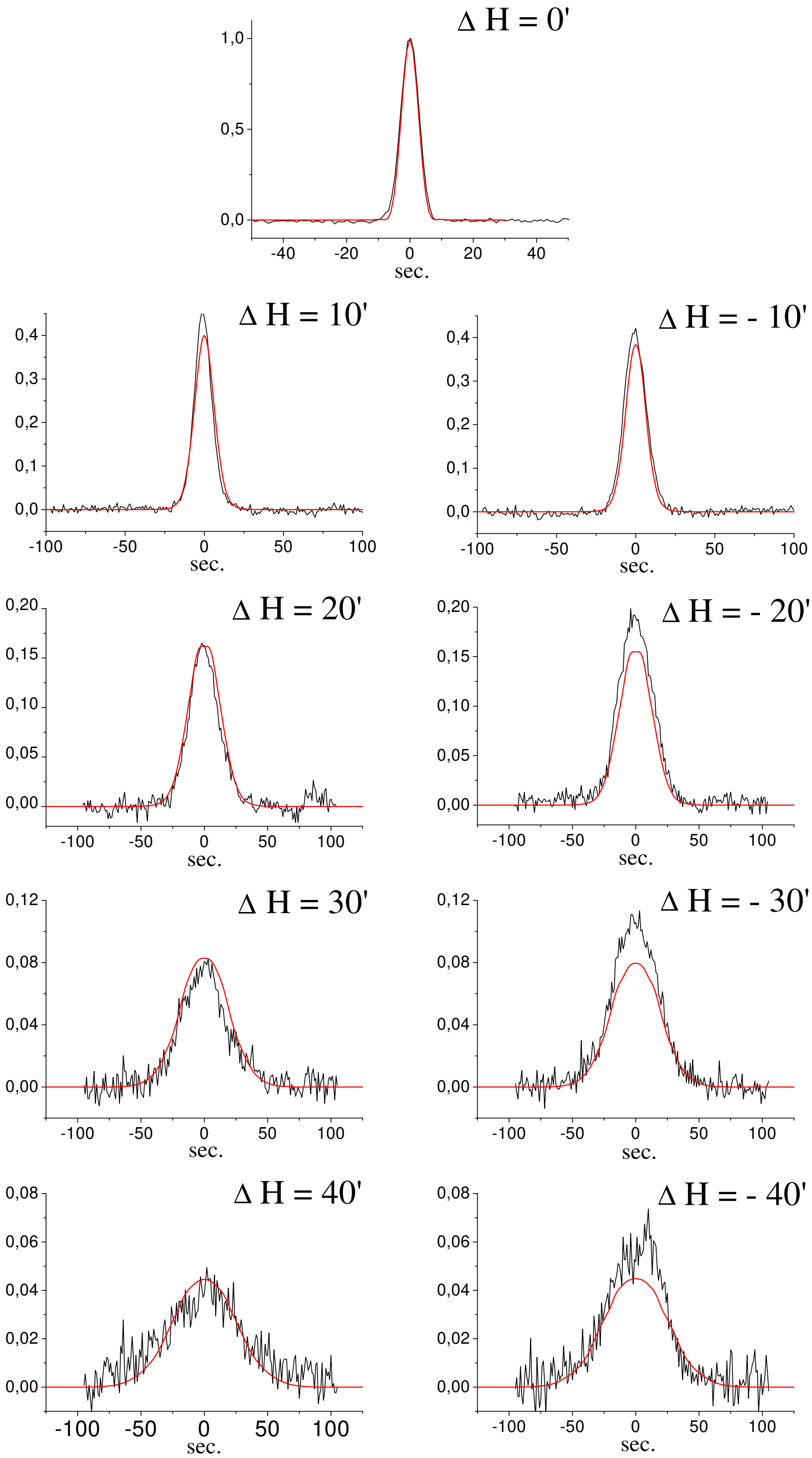

Рис. 17: Кривые прохождения точечного источника 3C 161 (0624-05) (H=40°18.5′) на волне λ13 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 0$.

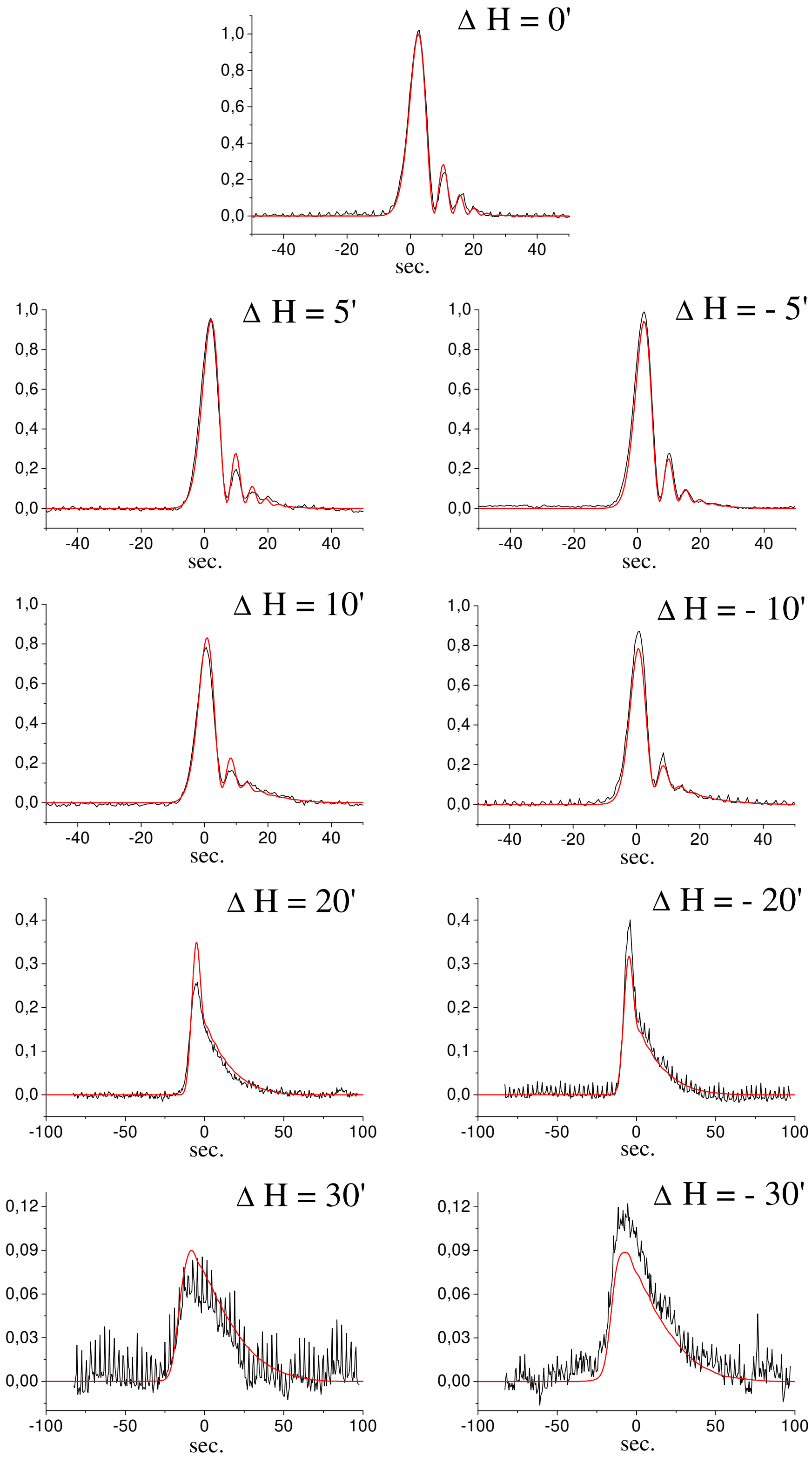

Рис. 18: Кривые прохождения точечного источника 3C 161 (0624-05) (H=40°18.5′) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 7.9\lambda$.

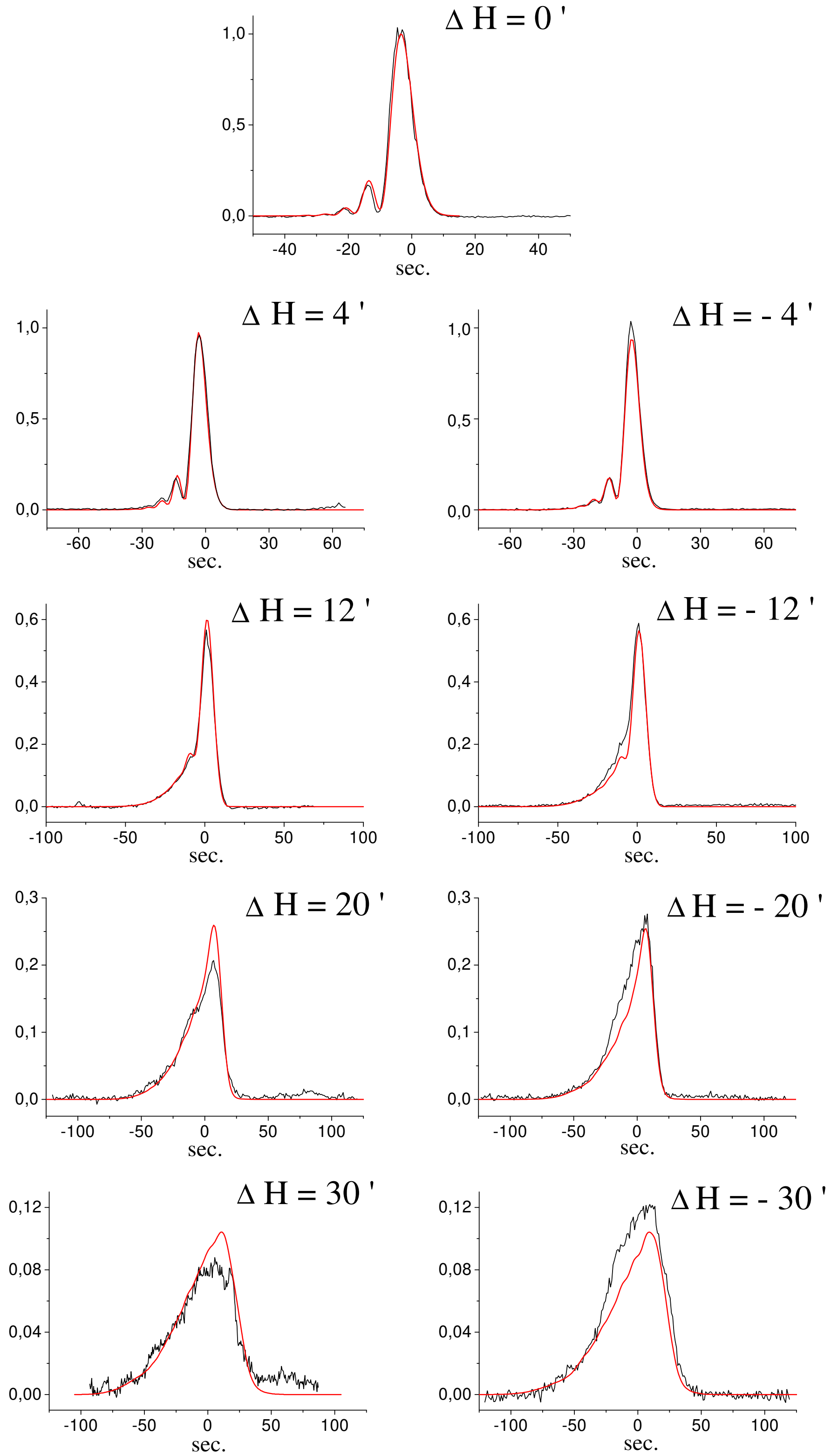

Рис. 19: Кривые прохождения точечного источника 3C 273 (1226+02) (H=48°14′) на волне λ13 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 4.6\lambda$.

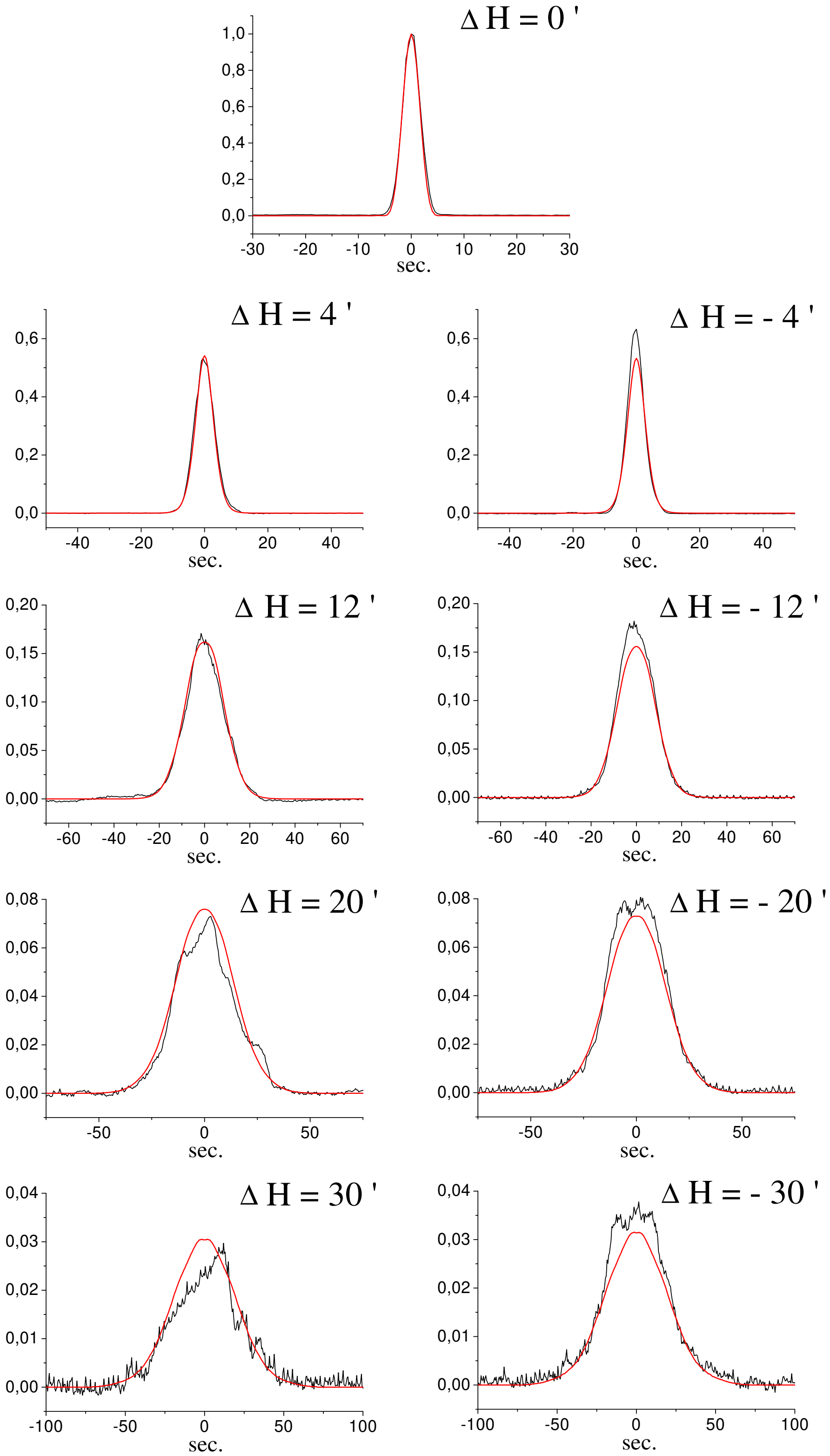

Рис. 20: Кривые прохождения точечного источника 3C 273 (1226+02) (H=48°14′) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 0$..

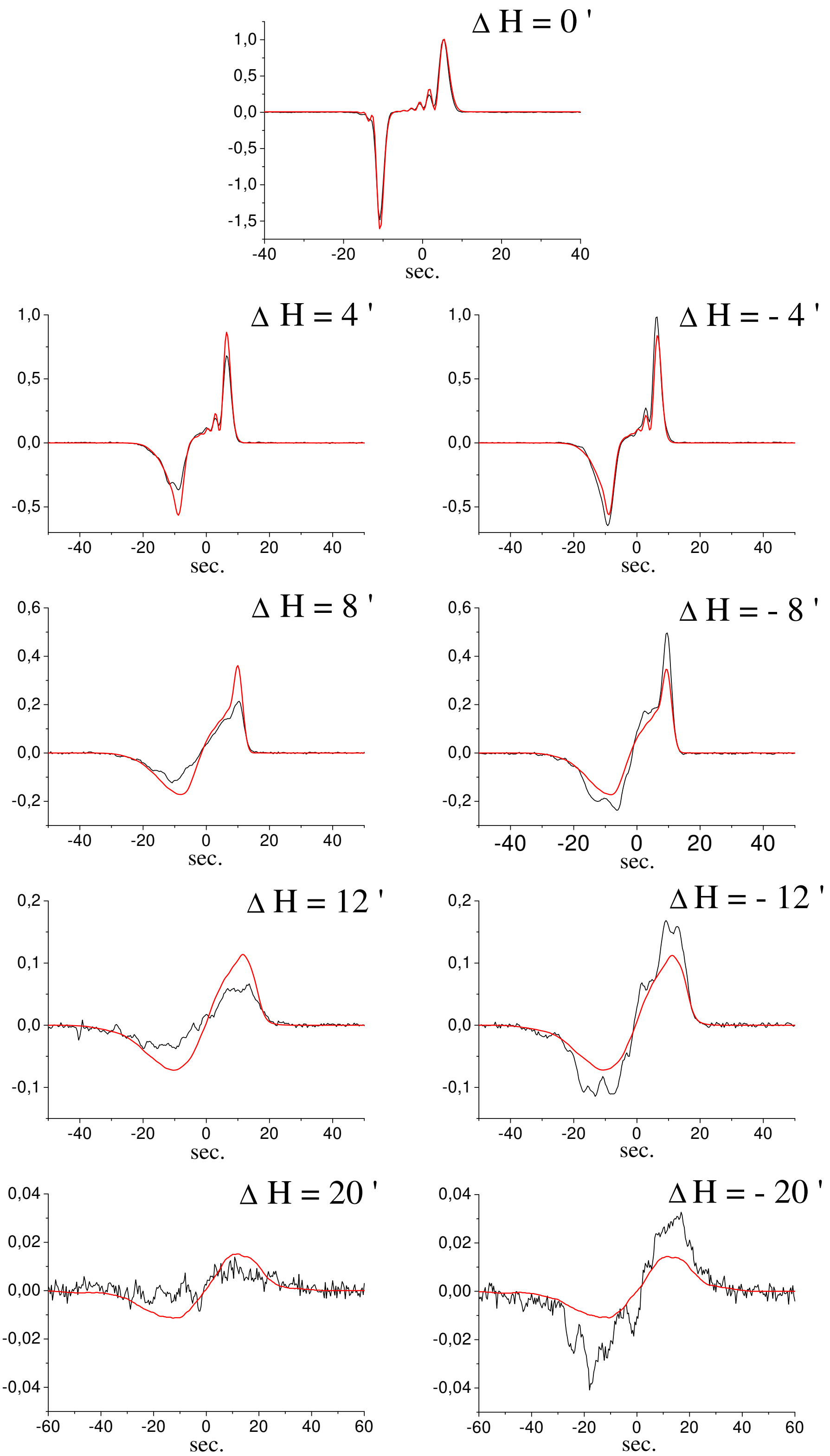

Рис. 21: Кривые прохождения точечного источника 3C 273 (1226+02) (H=48°14′) на волне λ3.9 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Выносы рупоров $\Delta = 2.7$ и 7.8λ.

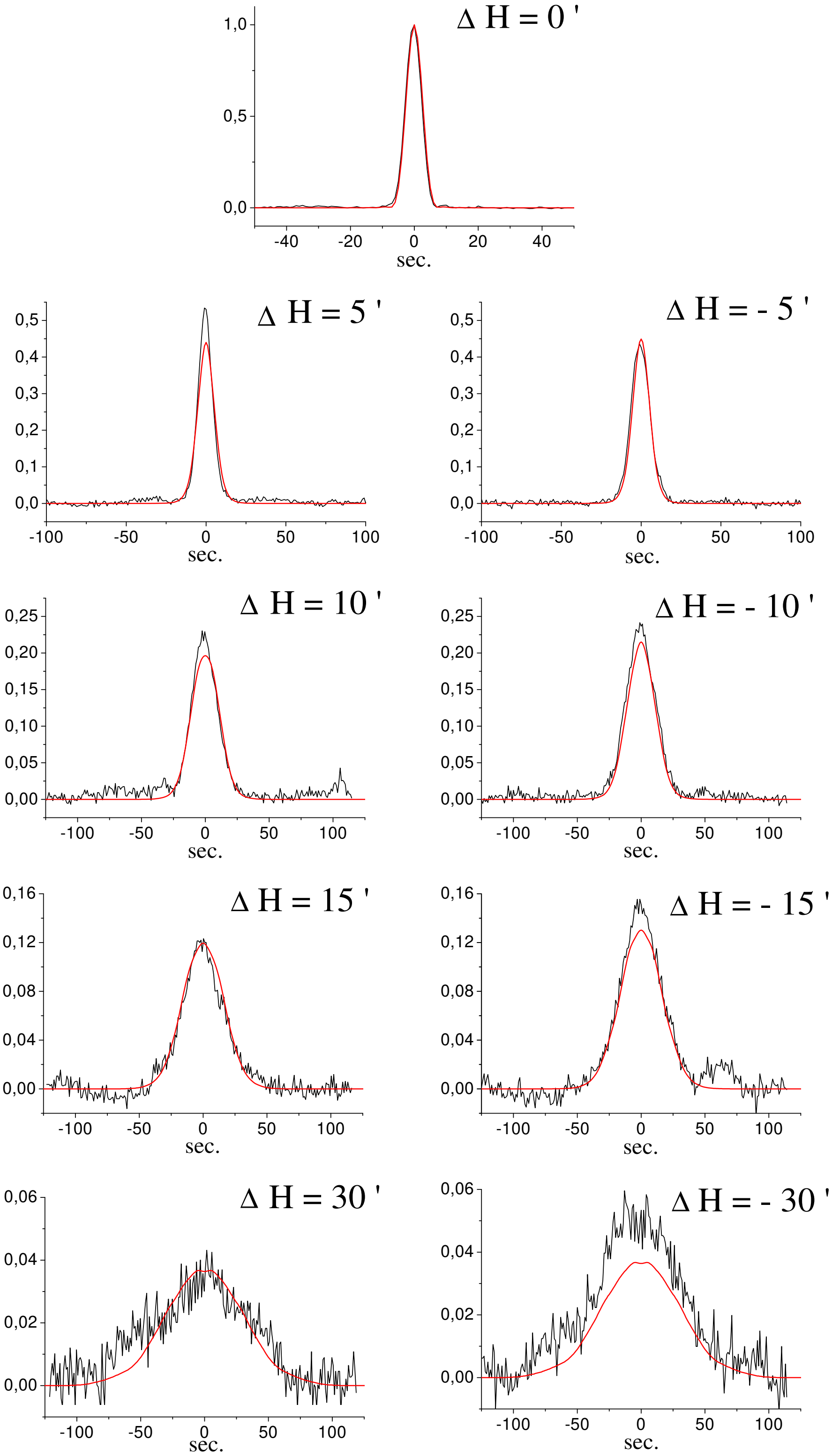

Рис. 22: Кривые прохождения точечного источника 3C 454.3 (2251+158) (H=62°20′) на волне λ13 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 0$.

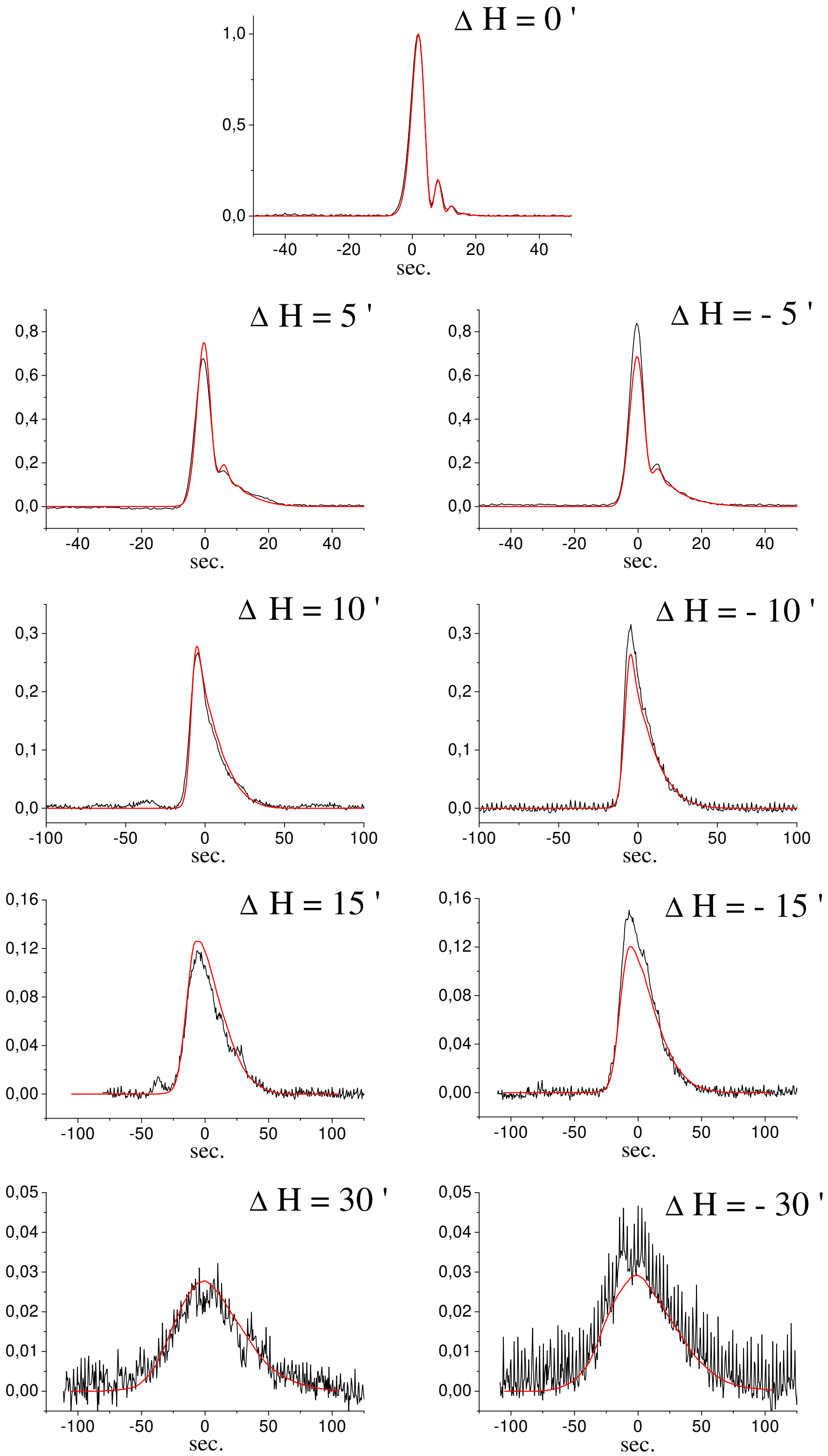

Рис. 23: Кривые прохождения точечного источника 3C 454.3 (2251+158) (H=62°20′) на волне λ 7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 7.9\lambda$.

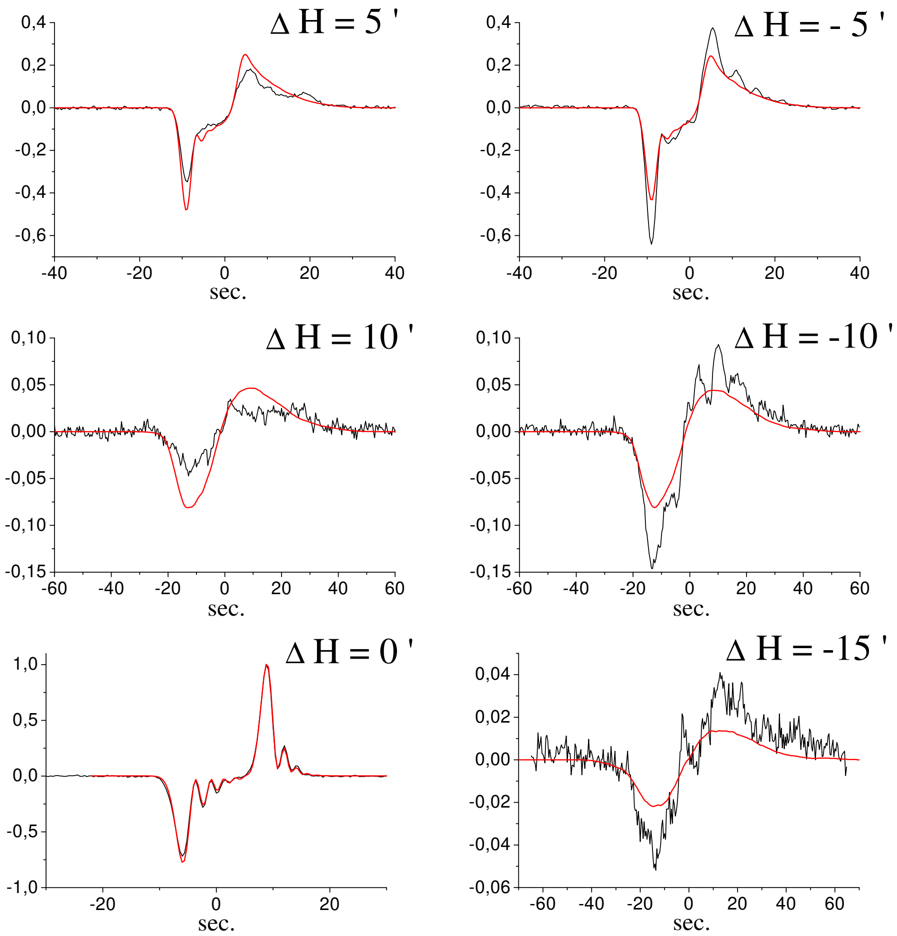

Рис. 24: Кривые прохождения точечного источника 3C 454.3 (2251+158) (H=62°20′) на волне λ3.9 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Выносы рупоров $\Delta = 12.7$ и 7.5λ.

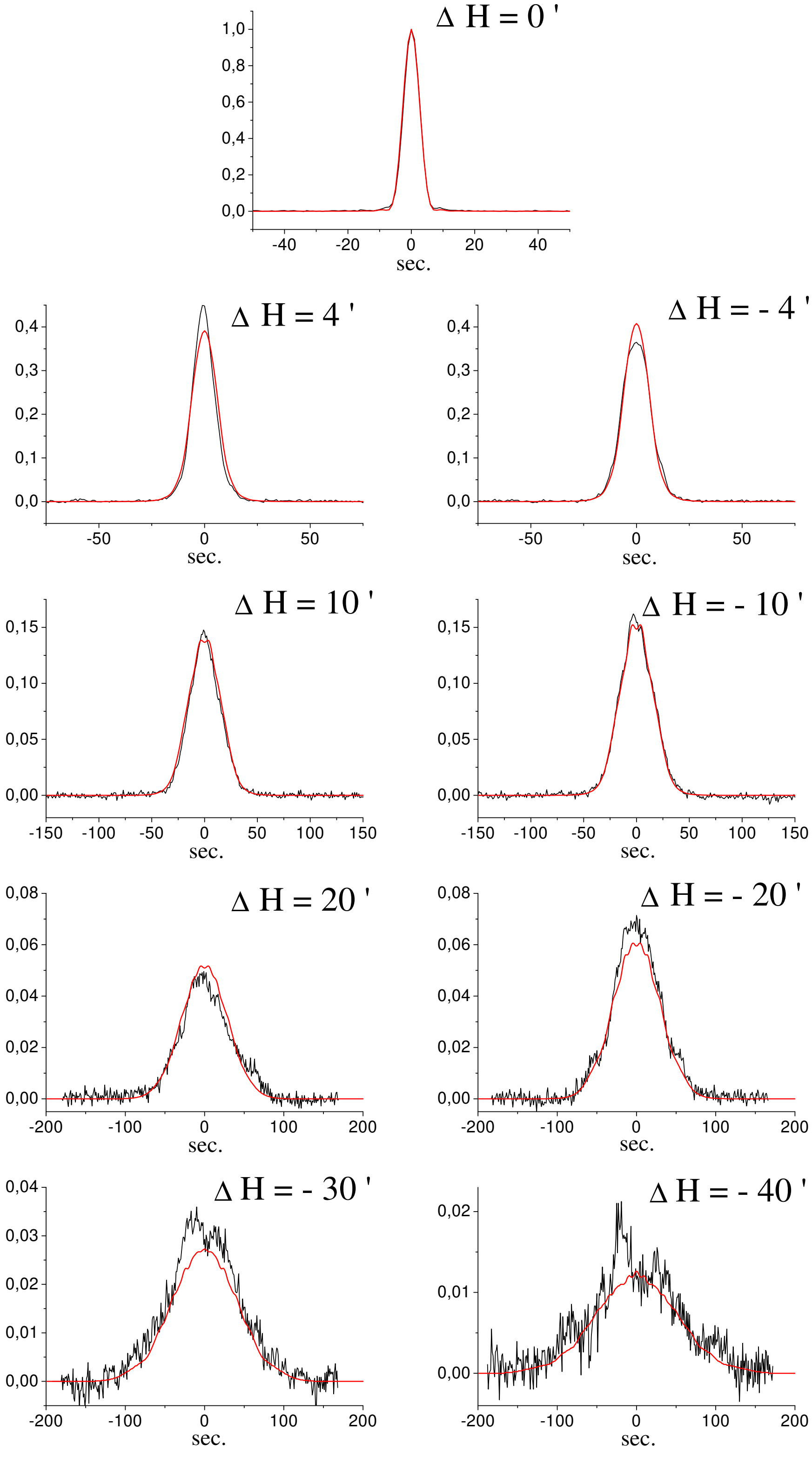

Рис. 25: Кривые прохождения точечного источника 3C 123 (0433+29) ($H = 75°48'$) на волне $\lambda 13$ см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 0$.

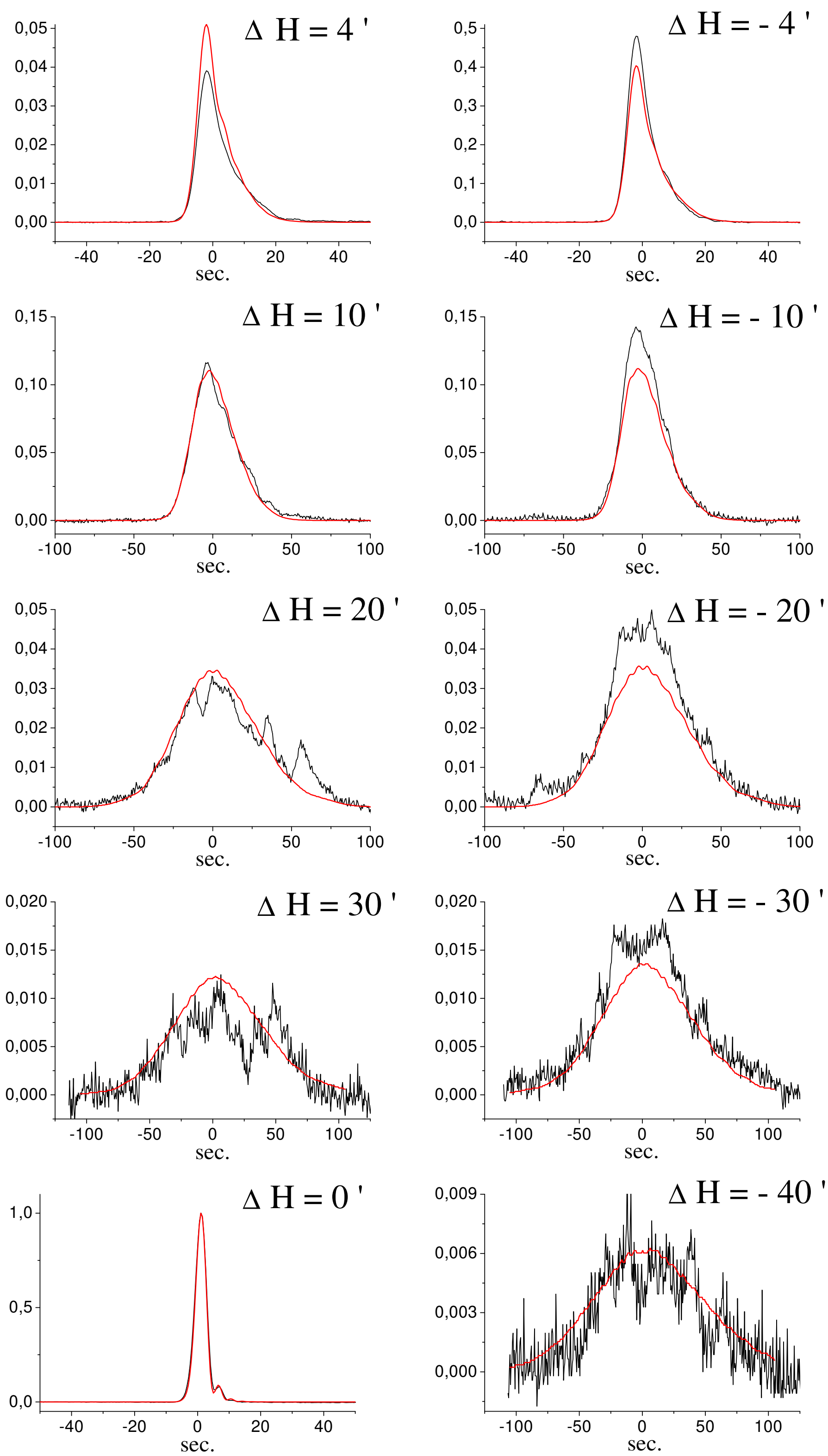

Рис. 26: Кривые прохождения точечного источника 3C 123 (0433+29) ($H = 75°48'$) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 7.9\lambda$.

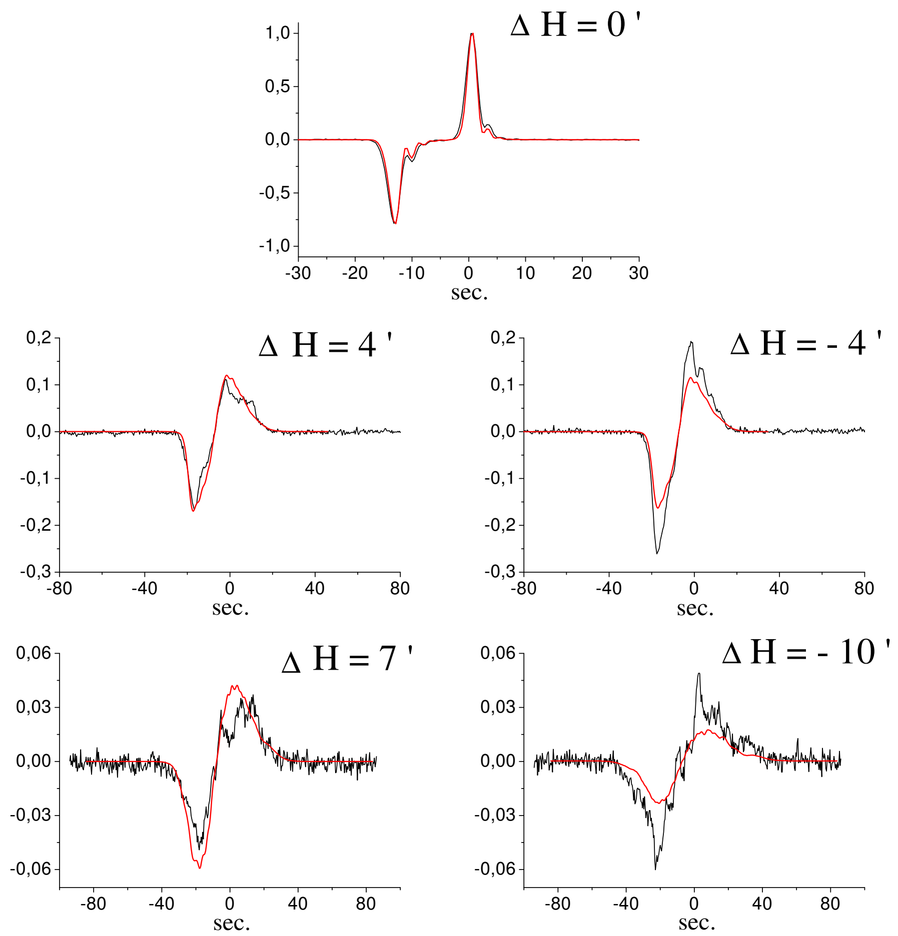

Рис. 27: Кривые прохождения точечного источника 3C 123 (0433+29) ($H = 75°48'$) на волне λ3.9 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Выносы рупоров $\Delta = 12.7$ и 7.5λ.

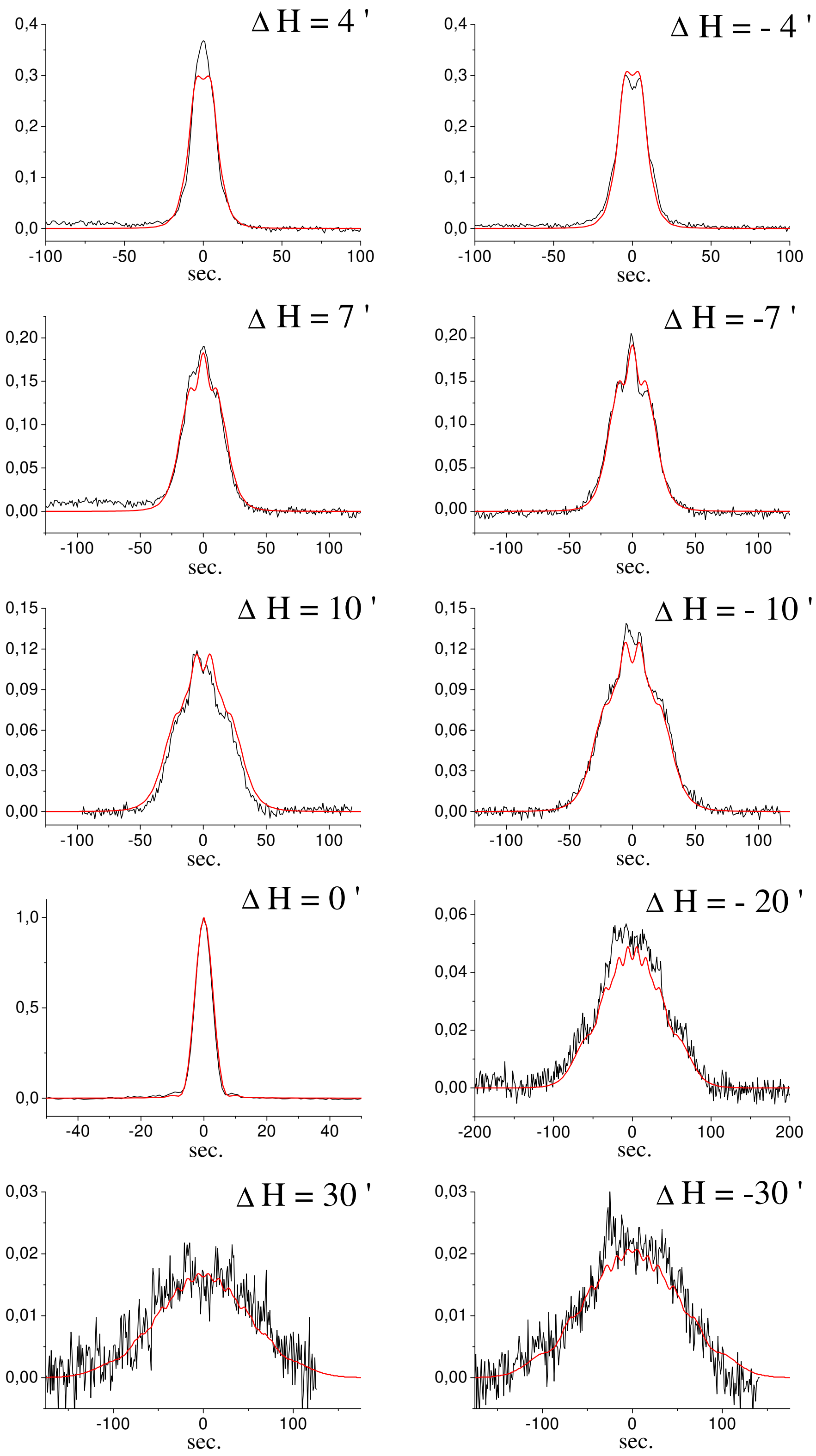

Рис. 28: Кривые прохождения точечного источника 3C 84 (0316+41)(H=87°41′) на волне λ13 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 0$.

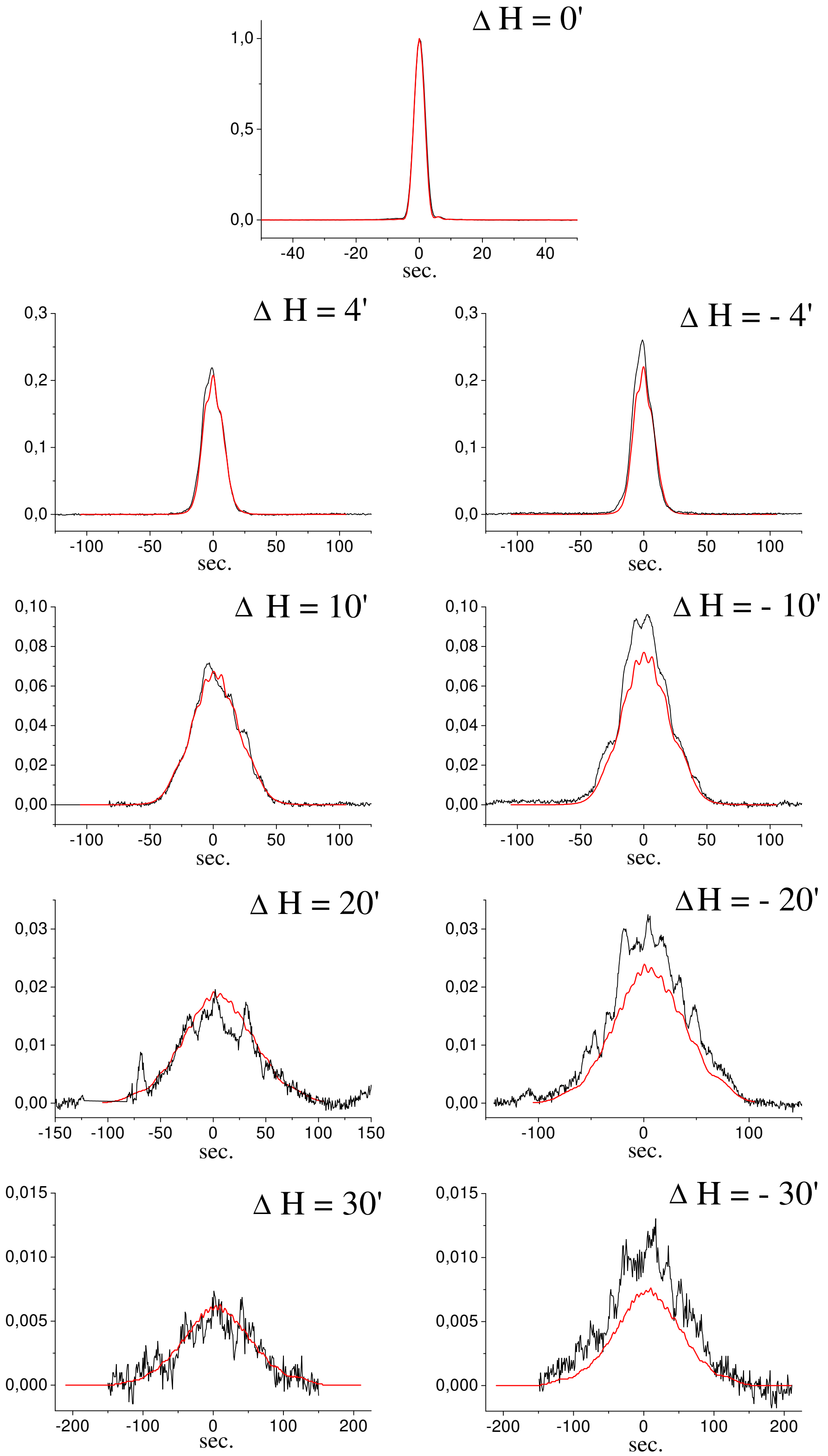

Рис. 29: Кривые прохождения точечного источника 3C 84 (0316+41) (H=87°41′) на волне $\lambda 7.6$ см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Вынос $\Delta = 7.9\lambda$.

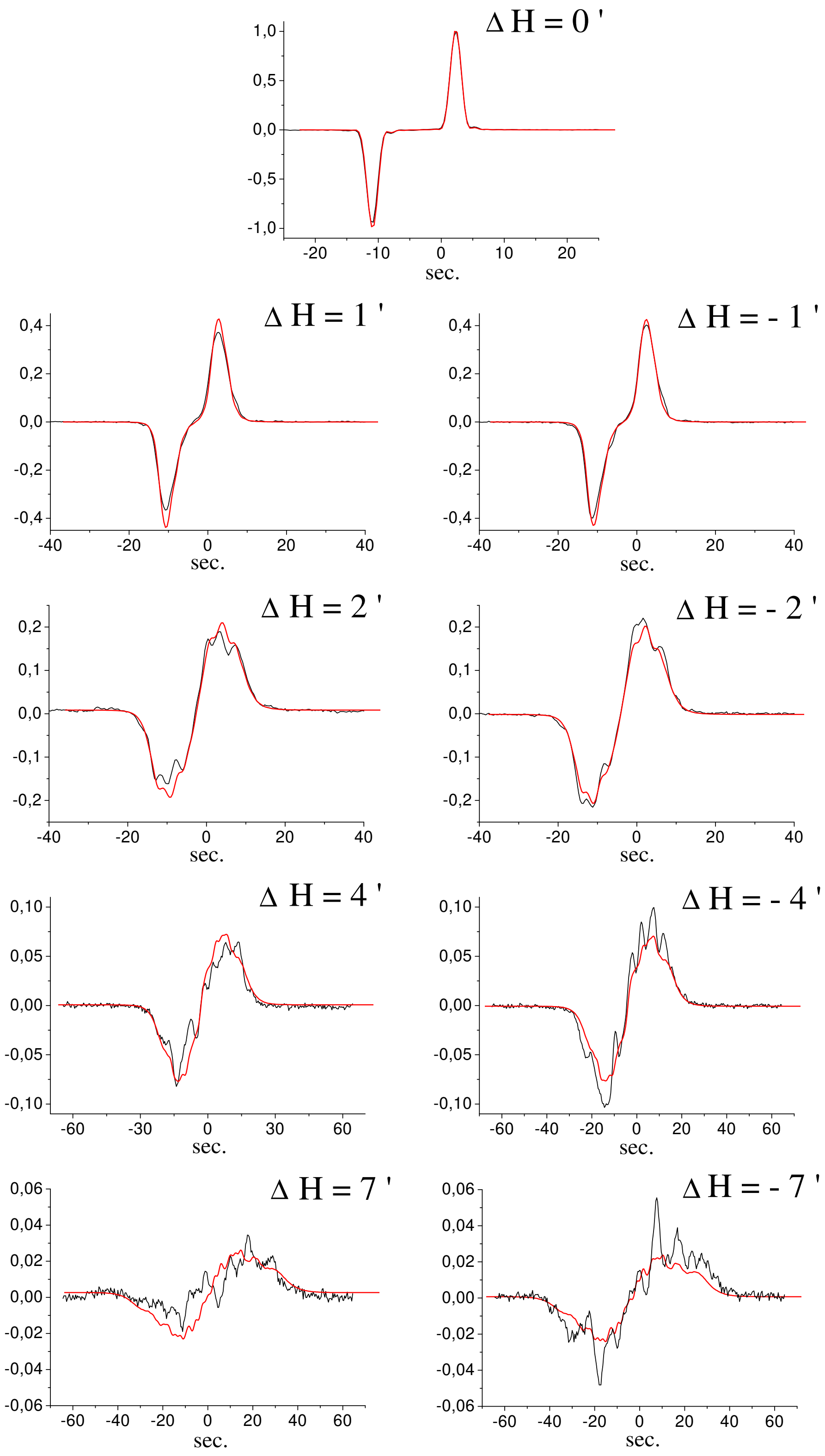

Рис. 30: Кривые прохождения точечного источника 3С 84 (0316+41) (H=87°41′) на волне λ3.9 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в октябре 2001 г. Выносы рупоров $\Delta = 12.7$ и 7.5λ.

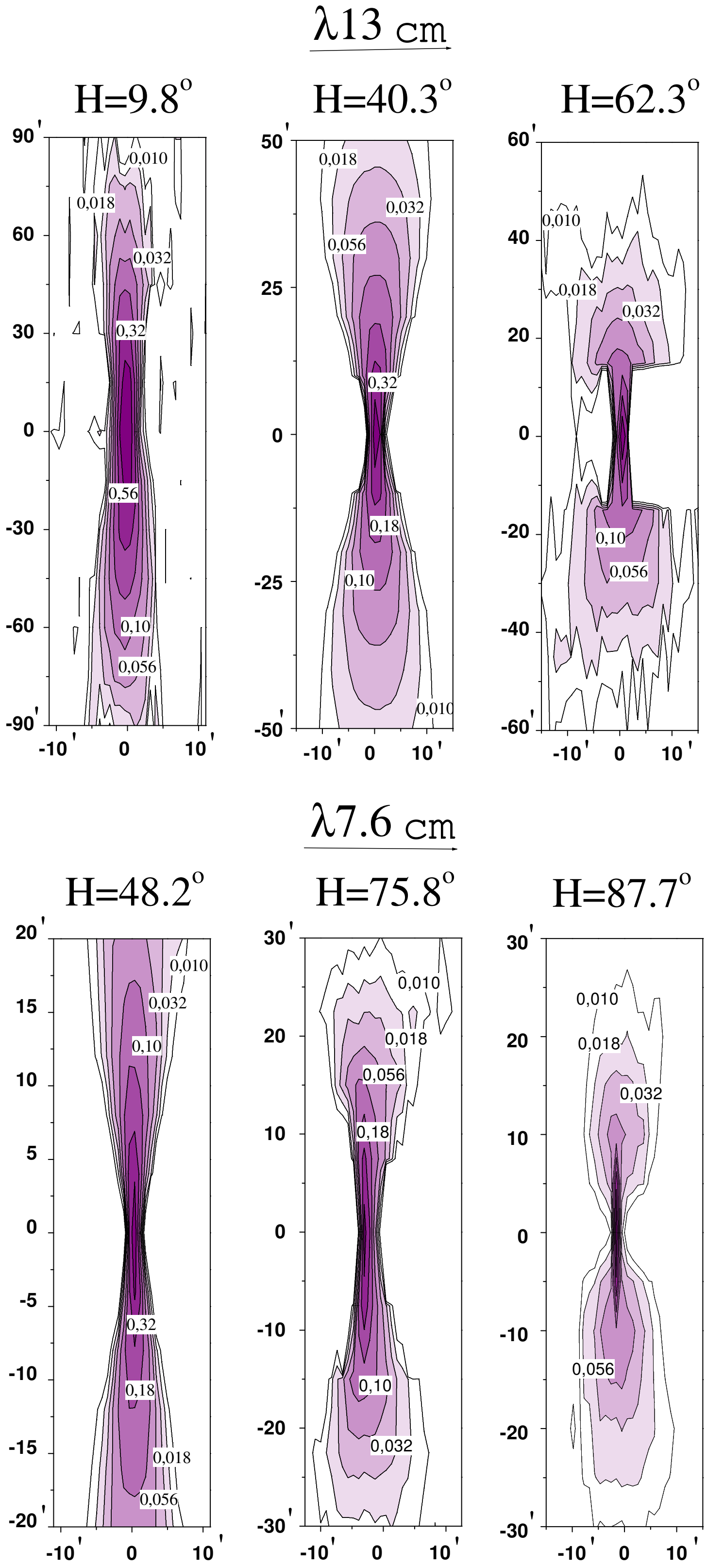

Рис. 31: Экспериментальные двумерные ДН РАТАН-600 на волнах $\lambda 7.6$ и 13 см, построенные по результатам наблюдений в октябре 2001 г.

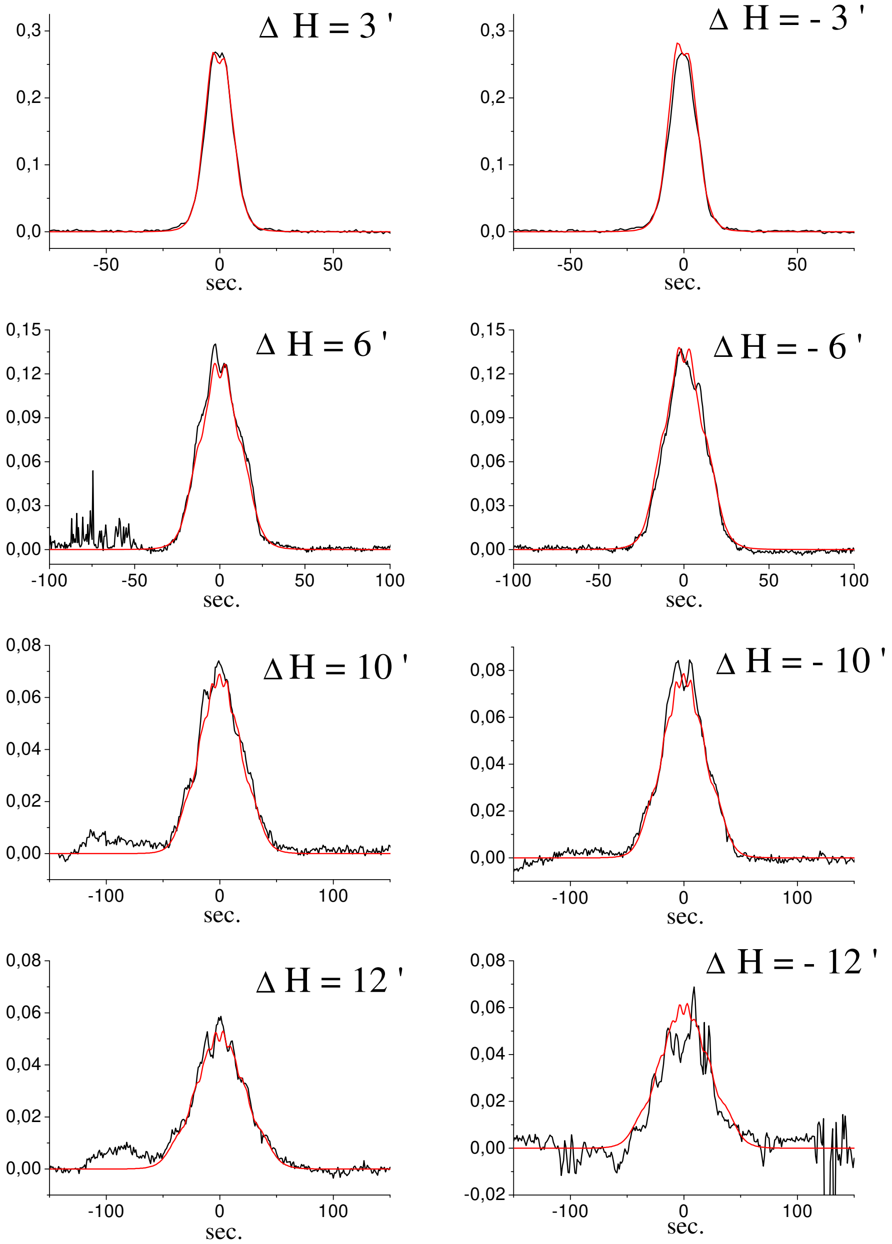

Рис. 32: Кривые прохождения точечного источника 3C 84 (0316+41) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в апреле 2002 г. Вынос $\Delta = 2.9\lambda$.

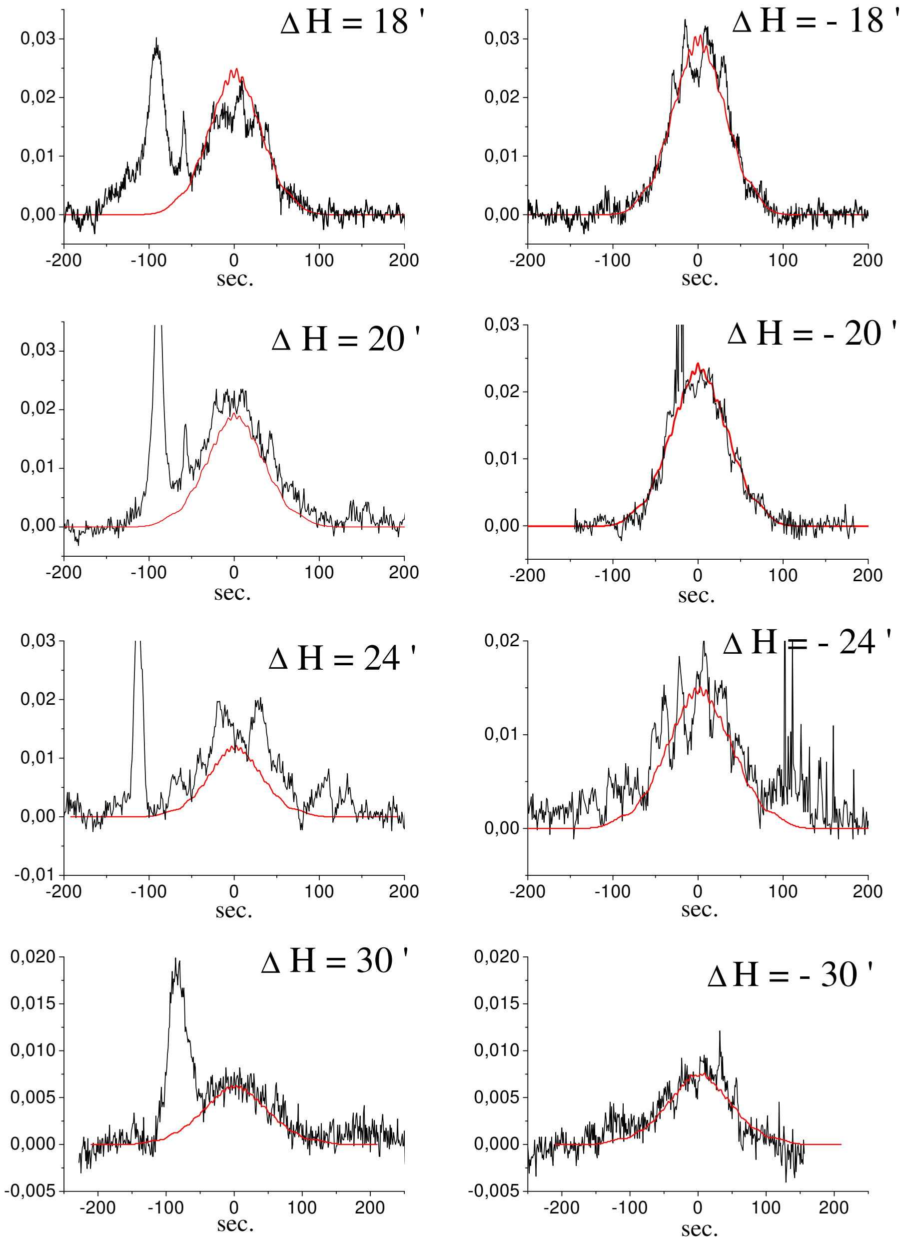

Рис. 33: Кривые прохождения точечного источника 3C 84 (0316+41) на волне $\lambda 7.6$ см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Наблюдения в апреле 2002 г. Вынос $\Delta = 2.9\lambda$.

Дополнительно были измерены кривые прохождения в сечениях $\Delta H = \pm 3', \pm 6', \pm 12', \pm 18', \pm 24'$ (Рис.32 и 33). Слева на записях с отрицательными ΔH виден еще один источник, попавший в ДН радиотелескопа. Для некоторых сечений было получено по несколько записей кривых прохождения. На Рис.34 показаны три записи сечения $\Delta H = -20'$.

Измеренные в этом цикле кривые прохождения в сечениях $\Delta H = \pm 10', \pm 20', \pm 30'$ существенно отличаются от полученных в предыдущем цикле и очень хорошо согласуются с результатами расчетов. Дисперсия разности записей экспериментальных и расчетных кривых прохождения не превышала 2-3σ шумовой дорожки или 0.1-0.3% от $F_{max}(0)$. Записи разности между кривыми прохождения, измеренными в различные дни (Рис.34), также имели дисперсию около двух шумовых дисперсий системы. Неожиданно искаженной оказалась форма кривых прохождения, полученных в сечениях $\Delta H = -12', \pm 18', \pm 24'$, записи которых были сделаны в самом конце цикла. В этих сечениях обнаружилась та же мелкомасштабная структура, которая была видна в сечениях $\pm 20'$ в предыдущем цикле наблюдений. В следующем разделе мы попытаемся разобраться в этом вопросе, используя дополнительную информацию о состоянии антенны.

4 Обсуждение результатов наблюдений

Обсуждая методику расчета ДН радиотелескопа, следует подчеркнуть, что формулы для расчета ДН были выведены в предположении, что главное и вторичное зеркала РАТАН-600 представляют собой идеальные гладкие поверхности. На самом деле главное зеркало состоит из отдельных отражающих элементов (щитов), путем перемещения которых по трем координатам (углу места, азимуту и радиусу) формируется поверхность заданной конфигурации. Точность формируемой поверхности определяется точностью юстировки и кинематических поправок к местам нулей, а также надежностью механизмов самих элементов главного зеркала и АСУ, которая управляет установкой их в заданное положение. За период между юстировками поверхность зеркала может ухудшаться за счет ухода мест нулей, старения и выхода из строя отдельных механизмов. Чтобы учесть влияние этих факторов на ДН радиотелескопа, во-первых, надо точно знать, как изменилось положение щита по каждой из координат и, во-вторых, учесть эти изменения в фазовом распределении поля на раскрыве гланого зеркала при расчете.

Для возможности учета ошибок в установках отдельных отражающих элементов главного зеркала в программу счета ДН (Майорова, 2002) были внесены следующие изменения. При интегрировании по углу ε (полярный угол в раскрыве главного зеркала) количество точек на апертуре задавалось равным количеству отражающих элементов (или кратным ему). При этом для высот, близких к $90°$, шаг интегрирования по ε остается равномерным, для остальных высот интегрирование по ε необходимо проводить с неравномерным шагом. Фаза в раскрыве главного зеркала Φ^0 вычислялся по формуле: $\Phi^0 = \Phi + \Delta\Phi$, где Φ — фаза при идеальной поверхности главного зеркала, $\Delta\Phi$ — добавка к фазе при наличие ошибок в установках элементов главного зеркала.

Фаза Φ рассчитывался по формулам, приведенным в работе (Майорова, 2002), для расчета $\Delta\Phi(\varepsilon, y)$ использовалась формула:

$$\Delta\Phi(\varepsilon, y) = 2\pi/\lambda\,[\Delta r(\varepsilon)\cos^2(H/2) + (y - b/2)\,\mathrm{tg}(\Delta u(\varepsilon))],$$

где Δr — ошибка в установке N-ого щита по радиусу, Δu — ошибка в установке N-ого щита по углу места, N — номер щита, y — координата на вертикальном раскрыве щита, b — высота щита. Для высот $H \simeq 90°$ выполняется соотношение: $\varepsilon = 0.4°(N - 600)$. Ошибки в установках щитов по азимуту не учитывались, поскольку ДН щита в горизонтальной плоскости почти на два порядка шире ДН радиотелескопа.

На Рис.35(a) показаны кривые прохождения точечного источника 3C 84 на волне $\lambda 7.6$ см через горизонтальные сечения $\Delta H = \pm 20'$ в наблюдениях в октябре 2001 г. и расчетные кривые тех же сечений ДН без учета ошибок в установках отражающих элементов главного зеркала, на Рис.35(b) — расчетные кривые тех же сечений с учетом ошибок в установках щитов по угломестной координате. В качестве последних использовались разности между новыми и старыми кинематическими поправками по углу места, которые были измерены С. Голосовой и др. и любезно предоставлены ими для расчетов, а также ошибки в положении щитов, которые регистрирует АСУ в конкретном наблюдении (так называемые "отказы" элементов). Поскольку измерения кинематических поправок были еще не закончены на момент расчета, мы располагали тогда информацией только по 50 щитам. Количество щитов, у которых кинематические поправки изменились на величину больше, чем $10'$, оказалось невелико, в основном изменение кинематических поправок по углу места не превышало $\pm 2'$. Учет этих угломестных ошибок в установке щитов привел к изменению структуры расчетных кривых (Рис.35(b)). Однако, чтобы согласовать расчетные и экспериментальные кривые по амплитуде, пришлось задать в счете систематическую угломестную ошибку $\Delta u = 1.7'$ (4 т.д. по углу места). Одно точное деление сельсина по углу места равно $25''$, одно точное деление сельсина по радиусу равно 0.17 мм.

Для расчетов ДН в различных горизонтальных сечениях были привлечены также данные об изменении положений мест нулей щитов, полученные по результатам автоколлимационных юстировок антенны. В качестве ошибок по радиусу Δr и углу места Δu использовались разности мест нулей положений щитов между двумя последовательными АК-юстировками, одна из которых проводилась до, другая – после цикла наблюдений. После проведенной в марте 2002 г. плановой юстировки для расчета отдельных сечений ДН были использованы разности мест нулей мартовской 2002 г. и апрельской 2001 г. юстировок. На Рис.36 красными линиями показаны расчетные сечения ДН на волне $\lambda 7.6$ см и высоте $H = 87.7°$ с учетом угломестных и радиальных ошибок, в качестве которых задавались разности мест нулей этих двух юстировок, и кривые прохождения источника 3C84 через соответствующие сечения ДН (черные линии). Обращает на себя внимание то обстоятельство, что амплитуда расчетных кривых приблизилась к экспериментальным без дополнительного введения систематической ошибки по углу места. Возросли максимумы ДН в сечениях с отрицательными ΔH и уменьшились в сечениях с положительными ΔH, увеличилась амплитуда мелкомасштабной структуры ДН. Хотя в отдельных сечениях наблюдалась корреляция в структуре расчетных и экспериментальных кривых, полного их совпадения добиться не удалось. По-видимому, разности мест нулей последовательных юстировок не дают полной информации о реальном положении элементов главного зеркала относительно идеальной поверхности в конкретный момент наблюдения данного источника. Это наглядно проявилось в цикле наблюдений в апреле 2002 г.

Характерным для этого цикла оказалось то, что его начало совпало с хорошим состоянием антенны (после юстировки прошло чуть меньше месяца), а к концу цикла свыше 20 щитов оказалось с большими ошибками по углу места (Рис.39(a)). Причем ухудшение поверхности антенны происходило в достаточно короткий промежуток времени. В результате, записи сечений ДН, которые исследовались в начале цикла, ($\Delta H = \pm 10', \pm 20', \pm 30'$), очень хорошо совпали с расчетными кривыми, но записи сечений, полученные в конце цикла, ($\Delta H = -12', \pm 18', \pm 24'$), имели мелкомасштабную структуру и заметно отличались от расчетных кривых (Рис.32, 33).

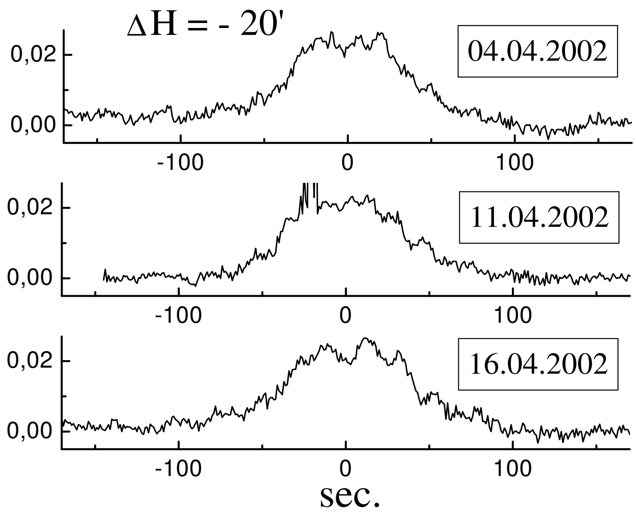

Рис. 34: Кривые прохождения точечного источника 3C 84 (0316+41) на волне $\lambda 7.6$ см через горизонтальное сечение $\Delta H = -20'$ ДН в различные дни наблюдений.

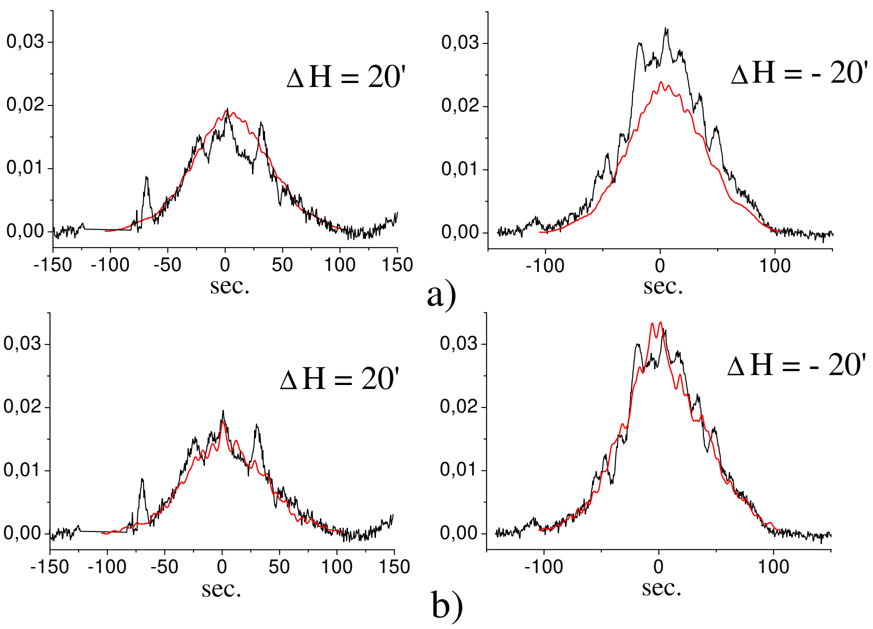

Рис. 35: Кривые прохождения точечного источника 3C 84 (0316+41) на волне $\lambda 7.6$ см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). a) — расчет без учета угломестных ошибок в установках отражающих элементов главного зеркала, b) — расчет с учетом ошибок в установках щитов по углу места. Наблюдения в октябре 2001 г.

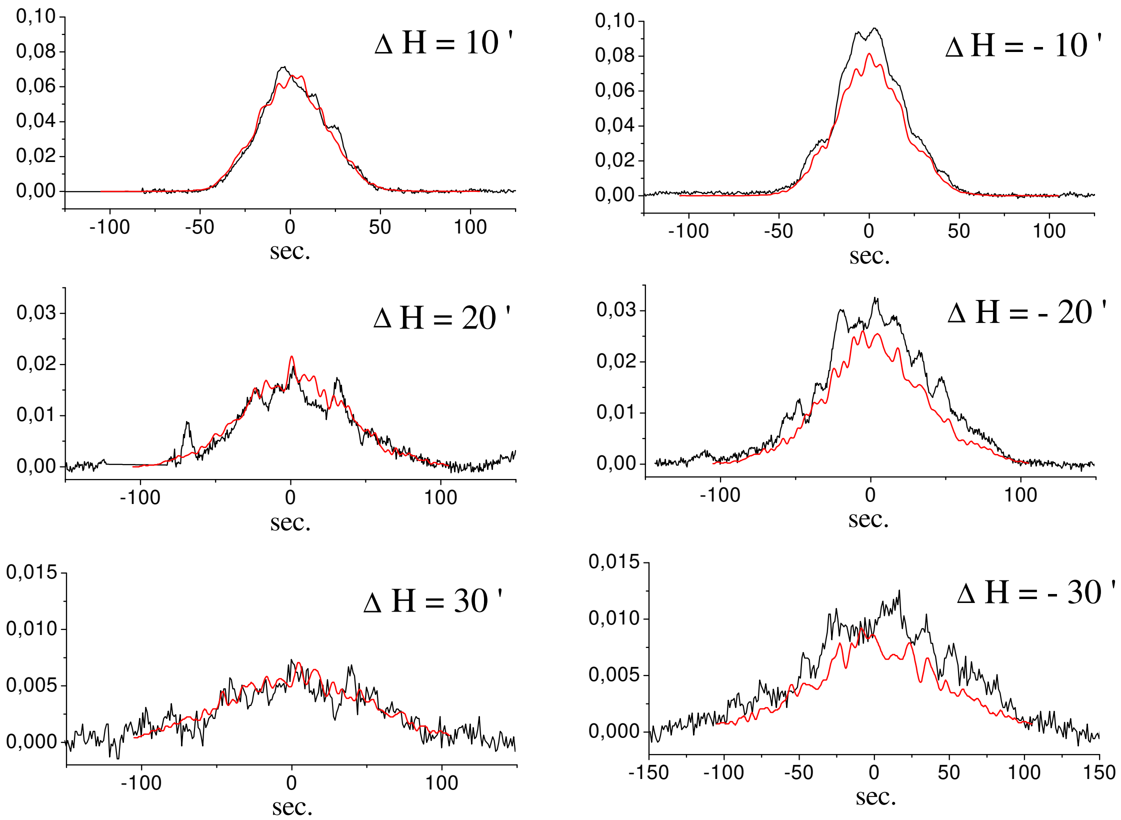

Рис. 36: Кривые прохождения точечного источника 3C84 (0316+41) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН по наблюдениям в октябре 2001 г. (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН с учетом ошибок в установках отражающих элементов главного зеркала по углу места и по радиусу (красные линии). В качестве последних использовались разницы мест нулей по углу места и радиусу между автоколлимационными юстировками в марте 2002 г. и в апреле 2001 г.

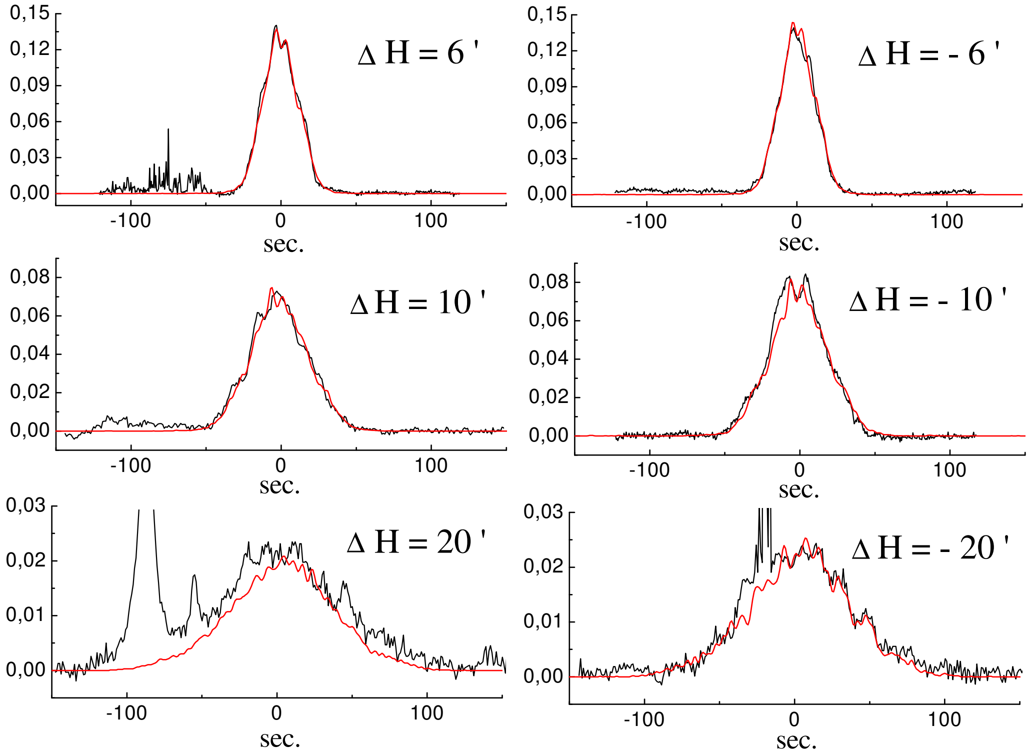

Рис. 37: Кривые прохождения точечного источника 3C 84 (0316+41) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН (черные линии) по наблюдениям в апреле 2002 г. и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН (красные линии). Расчет проводился с учетом случайных угломестных ошибок в установках закрылок отражающих элементов главного зеркала.

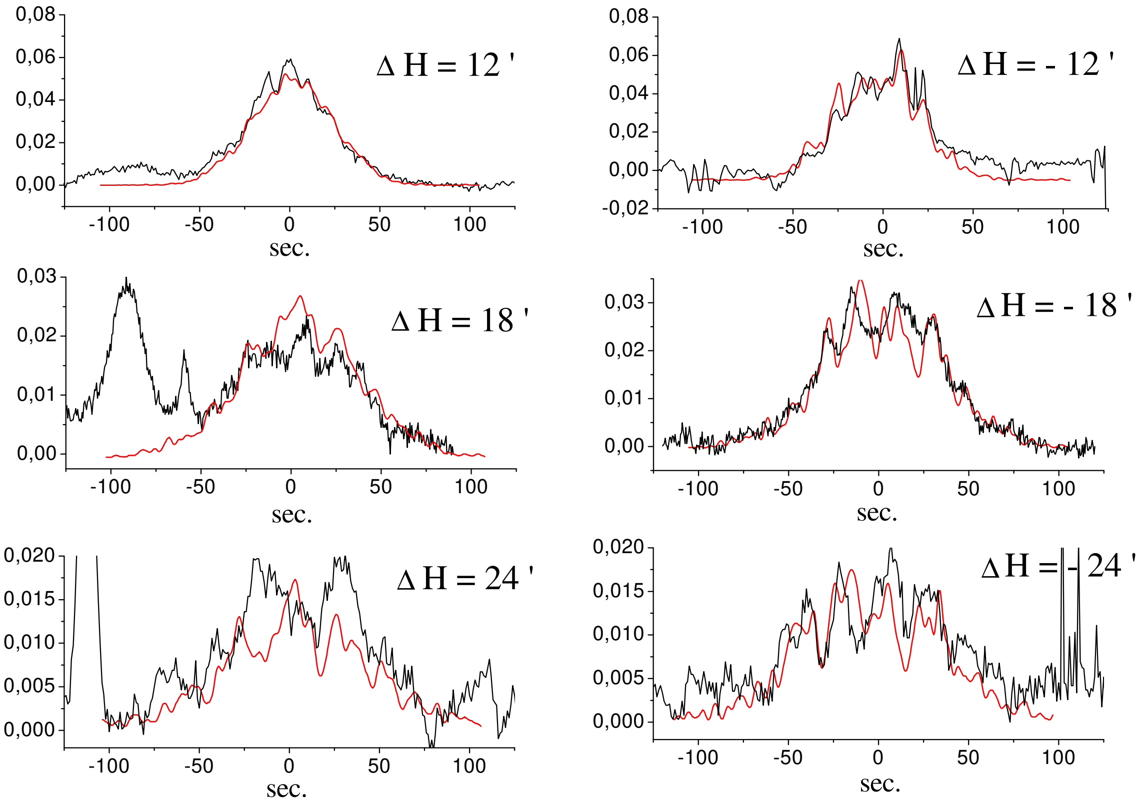

Рис. 38: Кривые прохождения точечного источника 3C 84 (0316+41) на волне λ7.6 см через горизонтальные сечения ДН по наблюдениям в апреле 2002 г. (черные линии) и соответствующие им расчетные горизонтальные сечения ДН с учетом ошибок в установках отражающих элементов главного зеркала по углу места и по радиусу (красные линии). В качестве последних использовались разности мест нулей по углу места и радиусу между автоколлимационными юстировками в июне и марте 2002 г.

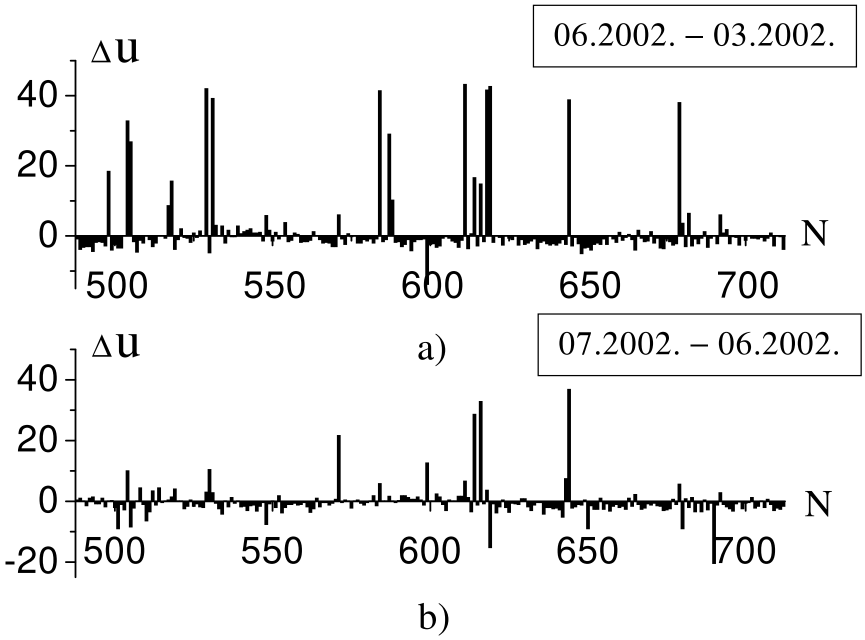

Рис. 39: Разности мест нулей по координате "угол места"трех последовательных юстировок. Δu даны в точных делениях шкалы сельсинов. N — номер щита.

При хорошем состоянием антенны среднеквадратичная ошибка установки щитов по радиусу и углу места не хуже $2 - 2.5$ точных делениях шкалы сельсинов . Кроме того нет элементов с большими угломестными ошибками. К сожалению, в реальных наблюдениях такие ошибки ("отскоки") возникают из-за износа механизмов движения элементов. Существуют еще угломестные ошибки в положении закрылок относительно основной поверхности щита. Закрылки представляют собой сплошные панели, высотой около 2 м, прикрепленные сверху и снизу щитов. На Рис.37 красными линиями показаны сечения ДН, рассчитанные с учетом случайных угломестных ошибок в установках закрылок относительно основной поверхности щита, черными линиями — кривые прохождения источника 3C84 на волне $\lambda 7.6$ см через те же сечения ДН в начале цикла наблюдений в апреле 2002 г. Среднеквадратичная ошибка в установке закрылок относительно основной поверхности щита составляет не менее $1' - 1.5'$.

На Рис.40(b) показаны сечения $\Delta H = \pm 20' \times \lambda[\mathrm{cm}]/7.6$ на волнах $\lambda 1.38$, 3.9, 7.6 и 31 см, рассчитанные с учетом угломестных и радиальных ошибок, средний квадрат которых составляет 2.5 точных делений шкалы сельсинов. Как видно из приведенных на Рис.37 и 40(b) кривых, наличие небольших случайных ошибок в установке щитов по угломестной и радиальной координатам и в установке закрылок по углу места не приводит к значительным искажениям ДН даже на далеких сечениях. Для сравнения на Рис.40(a) приведены те же сечения ДН, рассчитанные для идеально гладкой поверхности главного зеркала на волнах λ1.38, 3.9, 7.6 и 31 см для источника 3C84 ($H = 87.7^{\circ}$). Случайные ошибки порядка $\sim 2 - 3$ точных делений приводят к небольшим флуктуациям ДН на далеких сечениях, причем величина этих флуктуаций даже на самой короткой волне (λ 1.38 см) не превышает несколько процентов от максимума ДН (F_{max}) в этом сечении. На волнах $\lambda \leq 7.6$ см в сечениях $\Delta H = \pm 20'$ $F_{max} \simeq 0.02 \div 0.03 F_{max}(0)$. Это справедливо при отсутствии больших "отскоков"в положении щитов по углу места.

Картина кардинально меняется, если в установке антенны на заданный источник появляются щиты с большими ошибками по координате "угол места". Как видно из кривых, приведенных на Рис.38 и 40(c,d), наличие таких щитов приводит к существенному изменению структуры ДН в горизонтальных сечениях. Черными линиями на Рис.38 показаны кривые прохождения источника 3C84 через неподвижную ДН в конце цикла наблюдений в апреле 2002 г., красными линиями — горизонтальные сечения ДН $\Delta H = \pm 12', \pm 18', \pm 24'$, рассчитанные с учетом угломестных и радиальных ошибок в установках отражающих элементов главного зеркала. В качестве последних использовались разности мест нулей по углу места и радиусу двух последовательных автоколлимационных юстировок в марте и июне 2002 г. (Рис.39(a)). Данные, приведенные на Рис.39 были любезно предоставлены группой антенных юстировок и руководителем ЛАСУР Г.В. Жеканисом.

Из Рис.39(a) видно, что на момент юстировки в июне 2002 г. порядка 20 щитов имели большие "отскоки"одного знака по углу места. То, что именно они вызывают искажения ДН, показывает сравнение экспериментальных и расчетных кривых. Расчетные кривые приобретают мелкомасштабную искаженную структуру, причем амплитуда искажений увеличивается по отношению к F_{max} в данном сечении с возрастанием ΔH. То, что не удается получить полного совпадения расчетных и экспериментальных кривых, объясняется тем, что используемые при расчете разницы мест нулей дают информацию о состоянии антенны лишь на момент самой юстировки. Между юстировками, в процессе интенсивной эксплуатации антенны, случайные повреждения механизмов, осуществляющих перемещение щитов по любой из координат, приводят к тому, что значения мест нулей отсчетных устройств такого щита оказываются ошибочными. Следовательно, ошибочной оказывается и установка щита на заданный источник. Повреждение механизмов щитов, которое происходило в апреле 2002, а также влияние ряда других факторов привело к появлению щитов с большими "отскоками". Количество щитов с ошибочными местами нулей и их распределение по антенне менялось на протяжении всего цикла наблюдений и не было достатачной информации, чтобы учесть эти изменения в расчетах ДН. В таких случаях должна проводиться внеплановая юстировка антенны.

На Рис.40 показано, как меняется структура горизонтальных сечений ДН на разных длинах волн при изменении характера распределения угломестных ошибок по щитам. Сечения на Рис.40(a) рассчитаны с нулевыми ошибками, в установках щитов, сечения на Рис. 40(b) — с угломестными и радиальными ошибками, средний квадрат которых равен 2.5 точных деления сельсинов, сечения на Рис.40(c) — с угломестными ошибками, соответствующими разности мест нулей юстировок в июне и июле 2002 г. (Рис.39(b)), сечения на Рис.40(d) — с угломестными ошибками, соответствующими разности мест нулей юстировок в июне и марте 2002 г. (Рис.39(a)). Из этих рисунков хорошо видно, что изменение количества щитов с большими угломестными ошибками и их распределения по апертуре приводит к существенному изменению структуры ДН. Изменения эти тем сильнее, чем короче волна. При достаточно большом количестве щитов с большими ошибками может происходить общий сдвиг ДН по углу места, если преобладают ошибки одного знака. Отметим, что радиальные ошибки также влияют на структуру ДН, но существенно слабее, чем "отскоки"в положении щитов по углу места.

Любые ошибки установки отражающих элементов в расчетное положение приводят не только к искажению структуры ДН, но и к падению усиления антенны, т.е. к уменьшению $F_{max}(0)$. Последнее будет тем значительнее, чем короче длина волны, на которой проводятся наблюдения.

Полученные результаты показывают, что с помощью разработанной методики можно достаточно точно рассчитывать ДН радиотелескопа, если есть надежная диагностика положений отдельных элементов главного зеркала по всем координатам. Частично такая диагностика осуществляется в системе автоматического управления антенной. Однако, при старении и износе механизмов движения этой диагностики оказывается недостаточно.

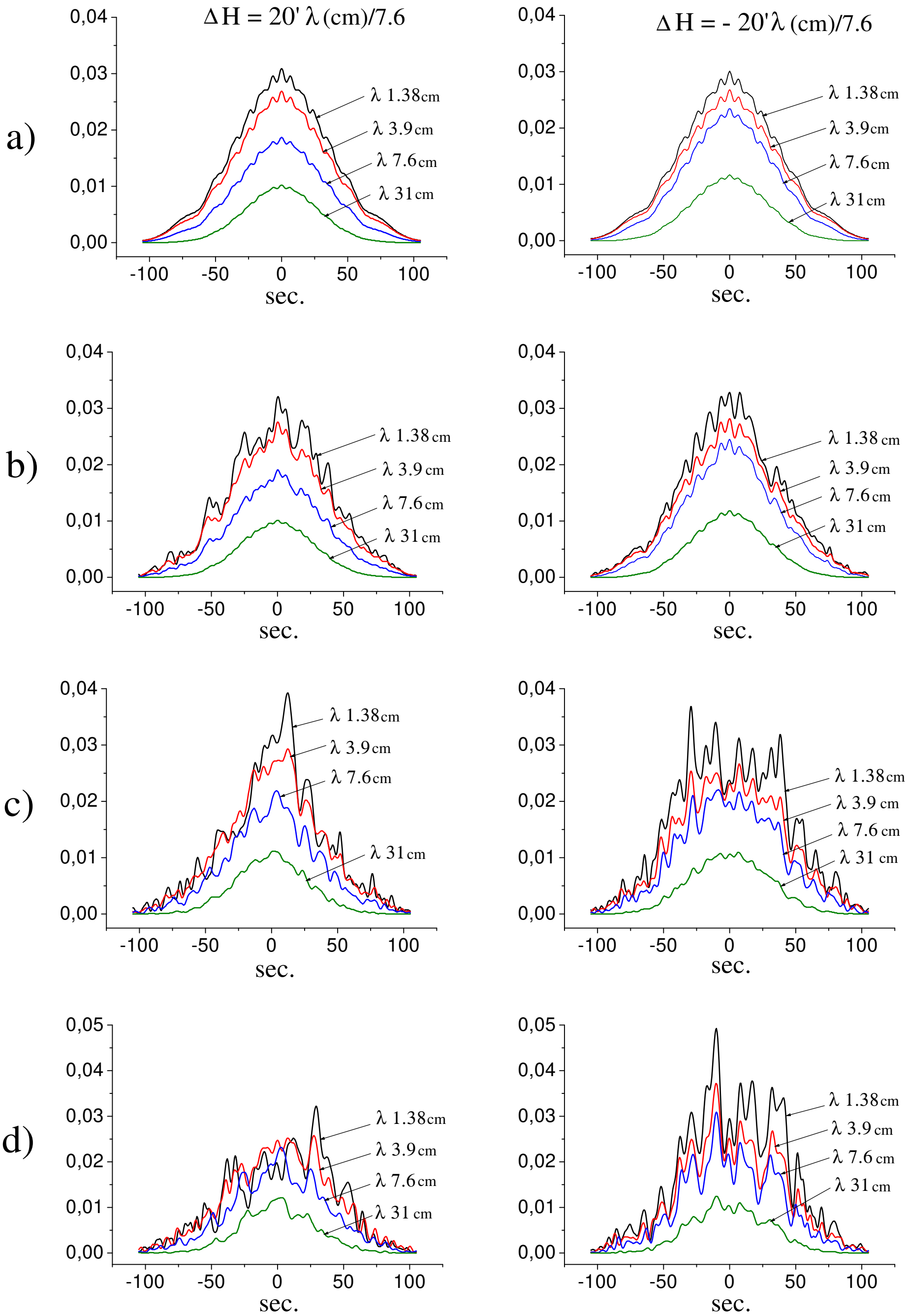

Рис. 40: Нормированные горизонтальные сечения ДН $\Delta H = \pm 20' \times \lambda[\mathrm{cm}]/7.6$ на разных длинах волн, рассчитанные для поверхности главного зеркала: a) – без ошибок в установках щитов, b) – с угломестными и радиальными ошибками, средний квадрат которых равен 2.5 точных деления сельсина, c) – с угломестными ошибками, соответствующими разности мест нулей юстировок в июне и марте 2002 г. d) – с угломестными ошибками, соответствующими разности мест нулей юстировок в июне и июле 2002 г. Шкала по оси абсцисс соответстсвует волне 7.6 см, для других волн ее надо домножить на коэффициент $\lambda[\mathrm{cm}]/7.6$. ($H = 87.7°$).

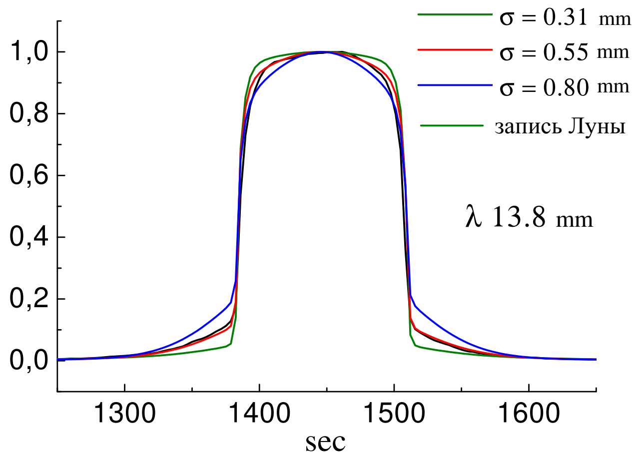

Рис. 41: Кривая прохождения Луны на волне $\lambda 1.38$ см (черная линия) и расчетные кривые, соответствующие среднеквадратичным ошибкам установки щитов по радиусу $\sigma =$ 0.8, 0.55, 0.31 мм (цветные линии).

5 Луна

Кроме исследований ДН по точечным источникам было проведено моделирование прохождения протяженного источника через расчетную двумерную ДН РАТАН-600 и сравнение результатов моделирования с реальными записями прохождения Луны через ДН. Расчет двумерной ДН осуществлялся с помощью программы Майоровой (2002) в предположении идеально гладкой поверхности главного зеркала. Делались свертки расчетной ДН с равномерным диском угловых размеров Луны на волнах $\lambda 1.38$, 2.7, 3.9, 7.6, 13, 31, 47.6 см. Высота Луны, с кривыми прохождения которой проводилось сравнение, равнялась 53.6°, а фаза Луны — 91.3°.

На волнах $\lambda 1.38$, 2.7, 3.9 см моделировался фон рассеяния, связанный со случайными ошибками установки щитов. Он задавался двумерной гауссианой, полуширины которой в горизонтальной и вертикальной плоскостях равны (Baars, 1973): $\theta_x = 0.53\lambda/a$, $\theta_y = 0.53\lambda/c$, где $a = 2$м — ширина щита, c — эффективный вертикальный размер щита.

Кривые прохождения Луны нормировались к своему максимуму и сравнивались с нормированной суммой сверток $S = S_1 + pS_2$, где S_1 — свертка ДН с равномерным диском, S_2 — свертка гауссианы рассеянного фона с равномерным диском Луны. Путем подбора величины коэффициента p осуществлялась подгонка расчетных и реальных кривых прохождения Луны через ДН на коротких волнах. Зная величину p, при которой расхождение расчетных и экспериментальных кривых минимально, с помощью методики, изложенной в работе (Госачинский, Майорова, Парийский, 1989), можно вычислить среднеквадратичную ошибку (σ), с которой были выставлены элементы главного зеркала в момент наблюдений. Точность метода около 5%. На Рис.41 черной линией показана кривая прохождения Луны на волне λ1.38 см и цветными линиями — расчетные кривые при разных значениях коэффициента p, которым соответствуют значения $\sigma = 0.8$, 0.55, 0.31 мм. На Рис.42 приведены записи прохождения Луны на волнах λ1.38, 2.7, 3.9 см (черные линии) и расчетные кривые, соответствующие значению $\sigma = 0.55$ мм (красные линии).

На длинах волн $\lambda \geq 7.6$ см случайные ошибки не влияют на форму кривой прохождения. На этих волнах сравнивались экспериментальные кривые прохождения Луны и свертки двумерной расчетной ДН с диском равномерной яркости угловых размеров Луны. Кривые прохождения и свертки нормировались к своему максимуму. На Рис.42 они показаны соответственно черными и красными линиями. На всех записях, за исключением тех, где доминируют шумы приемника, расчетные и экспериментальные кривые практически тождественны.

6 Аберрационные кривые

Во время наблюдений в октябре 2001 г. по опорным точечным источникам PKS 1921-36 ($H = 17°$), PKS2230+10 ($H = 57°$), 3C48 (0134+32) ($H = 79°$) и 2200+42 (Bl Lac) ($H = 88°$) были измерены зависимости максимальных значений ДН в центральном сечении F_{max} от величины поперечного выноса Δ приемного рупора из фокуса антенны (так называемые аберрационные кривые). На Рис.43 они показаны квадратами. На тех же рисунках сплошными красными линиями показаны аберрационные кривые, рассчитанные с помощью уточненого счета ДН, пунктирными синими линиями — аберрационные кривые, рассчитанные по программе Коржавина(1979). Видно, что на высотах $\leq 80°$ кривые, рассчитанные по этим программам мало отличаются между собой и хорошо согласуются с результатами измерений. Для высот, близких к 90°, имеются существенные расхождения в поведении расчетных кривых. Как было показано в работе Майоровой (2002), учет дифракционных эффектов и конечной ширины кольца главного зеркала приводит к существенному сужению безаберрационной зоны вблизи зенита. Полученные экспериментальные данные по аберрациям при больших выносах рупора из фокуса дают неоднозначный результат. Значения

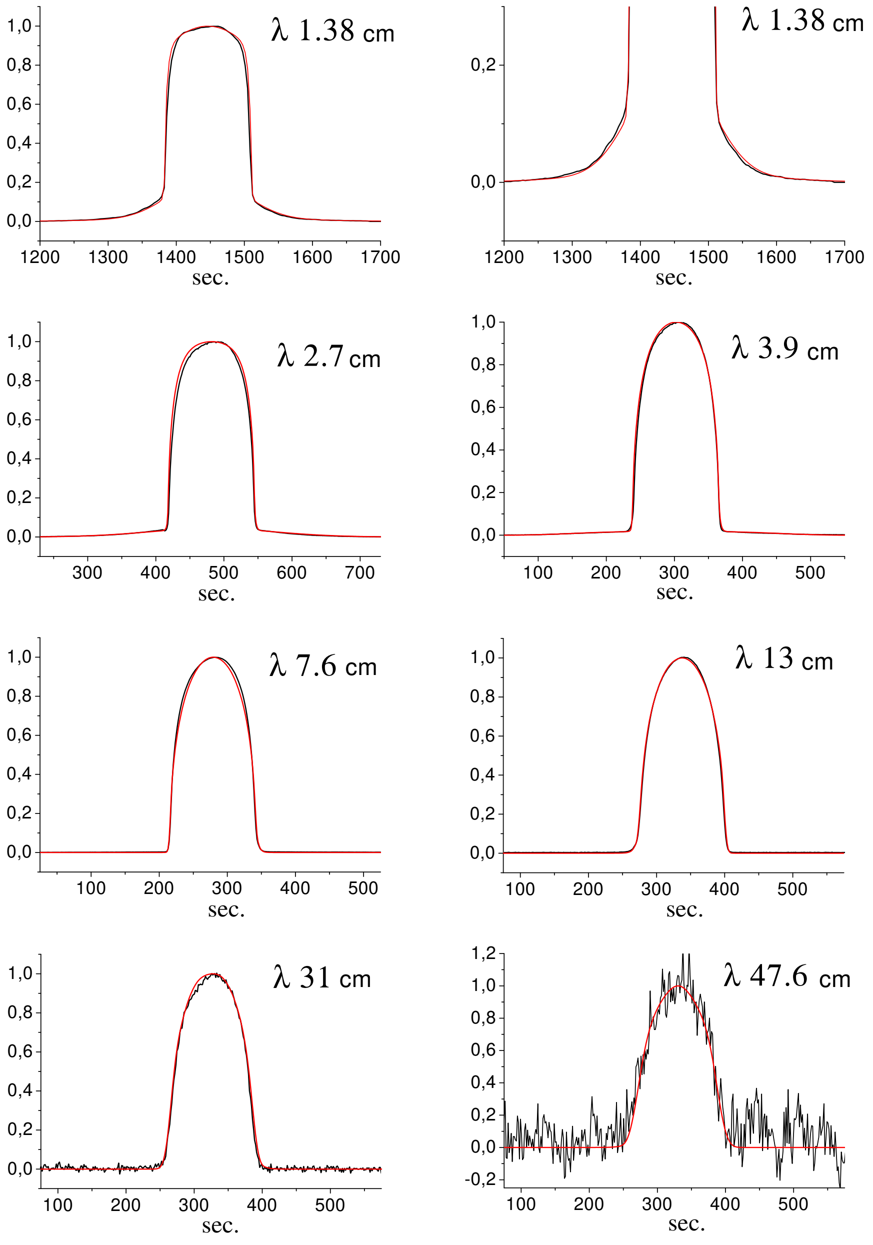

Рис. 42: Кривые прохождения Луны через ДН РАТАН-600 на волнах $\lambda 1.38 - 47.6$ см (черные линии) и свертки двумерной расчетной ДН с равномерным диском размеров Луны (красные линии).

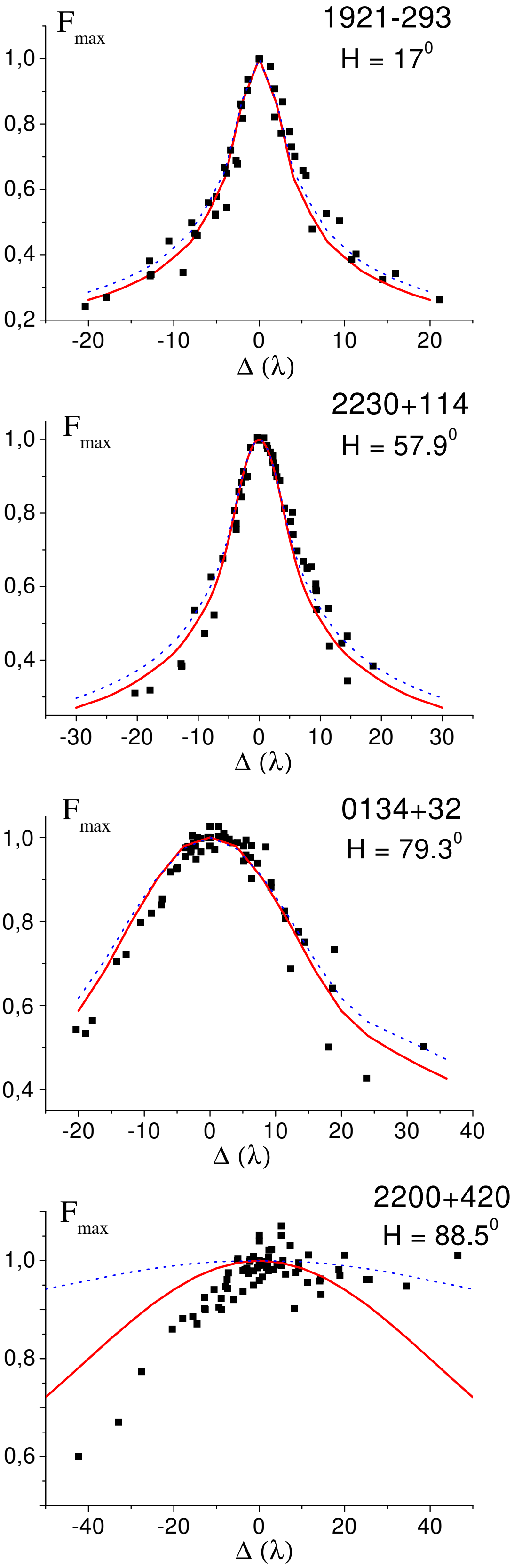

Рис. 43: Аберрационные кривые $F_{max}(\Delta)$, полученные из наблюдений опорных источников (квадраты), рассчитанные с помощью уточненого счета ДН (сплошные красные линии) и рассчитанные по программе Коржавина (пунктирные синие линии).

F_{max}, соответствующие отрицательным Δ лежат ниже расчетных кривых, а значения F_{max}, соответствующие положительным Δ — несколько выше. Такую асимметрию можно интерпретировать как несимметрию в установке рупоров на волну 1.38 см на фокальной линии вторичного зеркала, вдоль которой располагаются приемные рупора. Вероятно, нужны дополнительные измерения, чтобы уточнить полученные результаты. Заметим, что на высоких углах места при больших поперечных выносах приемного рупора из фокуса источник проходит несколько ниже центрального сечения ДН, что надо учитывать при расчете аберрационной кривой.

7 Заключение

Проведенные в трех циклах 2001-2002 гг. наблюдения опорных точечных источников позволили подробно исследовать ДН РАТАН-600 в широком диапазоне высот и длин волн при сфокусированной антенне и при наличие аберраций. Получены зависимости максимальных значений ДН в горизонтальных сечениях от величины выноса сечения относительно центрального по высоте, $F_{max}(\Delta H)$. Проведены сравнения кривых прохождения точечных источников через различные горизонтальные сечения ДН с расчетными кривыми, соответствующими этим сечениям. По отдельным наблюдаемым сечениям построены двумерные ДН РАТАН-600.

Сравнение зависимостей $F_{max}(\Delta H)$, а также кривых прохождения источников через различные горизонтальные сечения ДН с расчетными кривыми, показало хорошее согласие экспериментальных данных и результатов расчета по программе, в которой учитываются дифракционные эффекты в зоне Френеля и конечная ширина кольца главного зеркала. При хорошем состоянии антенны совпадение экспериментальных и расчетных кривых достигается на уровнях 0.005 от максимума ДН в центральном сечении. При появлении больших ошибок в установке отражающих элементов главного зеркала по углу места структура ДН на далеких сечениях может существенно измениться как по форме, так и по амплитуде. Проведенно моделирование отдельных сечений ДН при наличие ошибок в установке щитов по угломестной и радиальной координатам и ошибок в установке закрылок на щитах. Показано, как будет меняться структура ДН на далеких сечениях при изменении величины и характера распределения этих ошибок в раскрыве главного зеркала. Учет таких ошибок важен при наблюдениях на коротких волнах, поскольку кроме изменения структуры ДН такие ошибки могут привести к существенному падению усиления антенны. Он важен и при обработке данных глубоких обзоров и "чистки" записей от ярких "внеосевых" фоновых источников, проходящих через далекие сечения ДН.

Проведено сравнение экспериментальных кривых прохождения Луны и сверток расчетной двумерной ДН с равномерным диском размеров Луны во всем рабочем диапазоне длин волн РАТАН-600. Расчетные и экспериментальные кривые показали очень хорошее совпадение. На коротких волнах ($\lambda \leq 3.9$ см) для согласования экспериментальных и расчетных кривых использовалась методика, предложенная в работе (Госачинский и др., 1989), с помощью которой можно определить среднеквадратичную ошибку установки отражающих элементов главного зеркала по радиусу. Эта ошибка составила 0.55 мм.

С помощью наблюдений опорных точечных источников были проведены измерения аберрационных кривых радиотелескопа на разных высотах. За исключением высоты $H = 88^\circ$ кривые эти хорошо совпали с расчетными аберрационными кривыми. Расхождение в поведении расчетных и экспериментальных кривых при очень больших выносах рупора из фокуса, возможно, связано с некорректной установкой рупоров на волну 1.38 см вдоль фокальной линии вторичного зеркала.

Проведенные измерения ДН позволили проверить точность счета ДН и выявить важные эффекты, которые влияют на поведение ДН и ее стабильность во времени. Эти эффекты связаны с точностью установки отражающих элементов главного зеркала и могут быть также учтены в расчетах при надежной диагностике состояния антенны радиотелескопа.

Acknowledgements. Авторы выражают благодарность С.Я. Голосовой, И.В. Берлизеву, Г.В. Жеканису за предоставленные материалы по состоянию антенны, Н.Н. Бурсову за помощь в наблюдениях и Ю.Н. Парийскому за ценные замечания и обсуждение работы.

Список литературы

Госачинский И.В., Майорова Е.К., Парийский Ю.Н., 1989, Сообщ. САО, 63, 38.

Есепкина Н.А., Бахвалов Н.С., Васильев Б.А., Васильева Л.Г., Темирова А.В., 1979, Астрофиз. Исслед. (Изв. САО), 11, 182.

Коржавин А.Н., 1979, Астрофиз.исслед. (Изв. САО), 11, 170.

Кузьмин А.Д., Соломонович А.Е., 1964, Радиоастрономические методы измерения параметров антенн. Сов.радио.

Темирова А.В., 1983, Астрофиз. Исслед. (Изв САО), 17, 131.

Темирова А.В., 1985, Астрофиз. Исслед. (Изв САО), 19, 101.

Baars J.W.M. 1973, IEEE Trans. Antennas and Prop. v.AP-21, 461-474,

Majorova E.K., 2002, Bull. Spec. Astrophis. Obs., 53, 132 (в печати).