

УДК 523.987

Измерение магнитных полей спокойных протуберанцев в радиодиапазоне на РТ-22 КраО (1987–1993 гг.)

Н.А. Топчило

НИАИ им. В.В. Соболева СПбГУ, 198504, Россия, Санкт-Петербург
e-mail: top@astro.spbu.ru

Поступила в редакцию 14 октября 2008 г.

Аннотация. В докладе представлен ретроспективный обзор работ, выполненных на РТ-22 по измерению магнитных полей протуберанцев.

Ключевые слова: Солнце, протуберанцы, магнитные поля, радиоизлучение

1 Введение

Протуберанцы представляют собой холодную плотную плазму, расположенную высоко в короне. Основой их существования является магнитное поле (МП), которое, с одной стороны, поддерживает вещество протуберанца от падения на Солнце, а с другой – препятствует его прогреву от окружающей короны.

В настоящее время существуют три основные модели протуберанцев (Киппенхан и Шлютер, 1957; Хирайама, 1985; Леруа, 1989; Куперус и Рааду, 1974), отличающихся видом магнитного поля и характером протекающих по протуберанцу токов. Для установления справедливости той и иной модели необходимо измерение магнитного поля, которое может быть выполнено тремя способами:

- По поляризации оптических линий в присутствии МП (эффекты Зеемана и Ханле);
- По видимой тонкой структуре изображений (визуализация траекторий МП);
- По поляризации радиоизлучения в присутствии МП

Каждый из этих методов имеет свои плюсы и минусы, но наиболее прост и теоретически обоснован радиоастрономический метод, использованный в данной работе.

2 История наблюдений на РТ-22

Наблюдения проводились в интенсивности на волнах 8.2 и 13.5 мм и круговой поляризации на 13.5 мм. В работе принимали участие от КраО – Н.А. Нестеров, Н.С. Никитин, И.Д. Стрепка, от АИ СПбГУ – Г.П. Апушкинский, Н.А. Топчило, А.Н. Цыганов, от ГАС ГАО – К. Гундер.

Работа выполнялась в два этапа. Задачей первого этапа (1987–1991 гг.) являлось подтверждение практической возможности измерения круговой поляризации радиоизлучения протуберанцев, отработка методики наблюдений и измерения МП. На втором этапе (с 1993 г.) предполагалось получение большого количества измерений МП, их статистический анализ и установление их зависимости от близлежащих фоновых МП.

2.1 Наблюдения с круглым рупором (1987–1991 гг.)

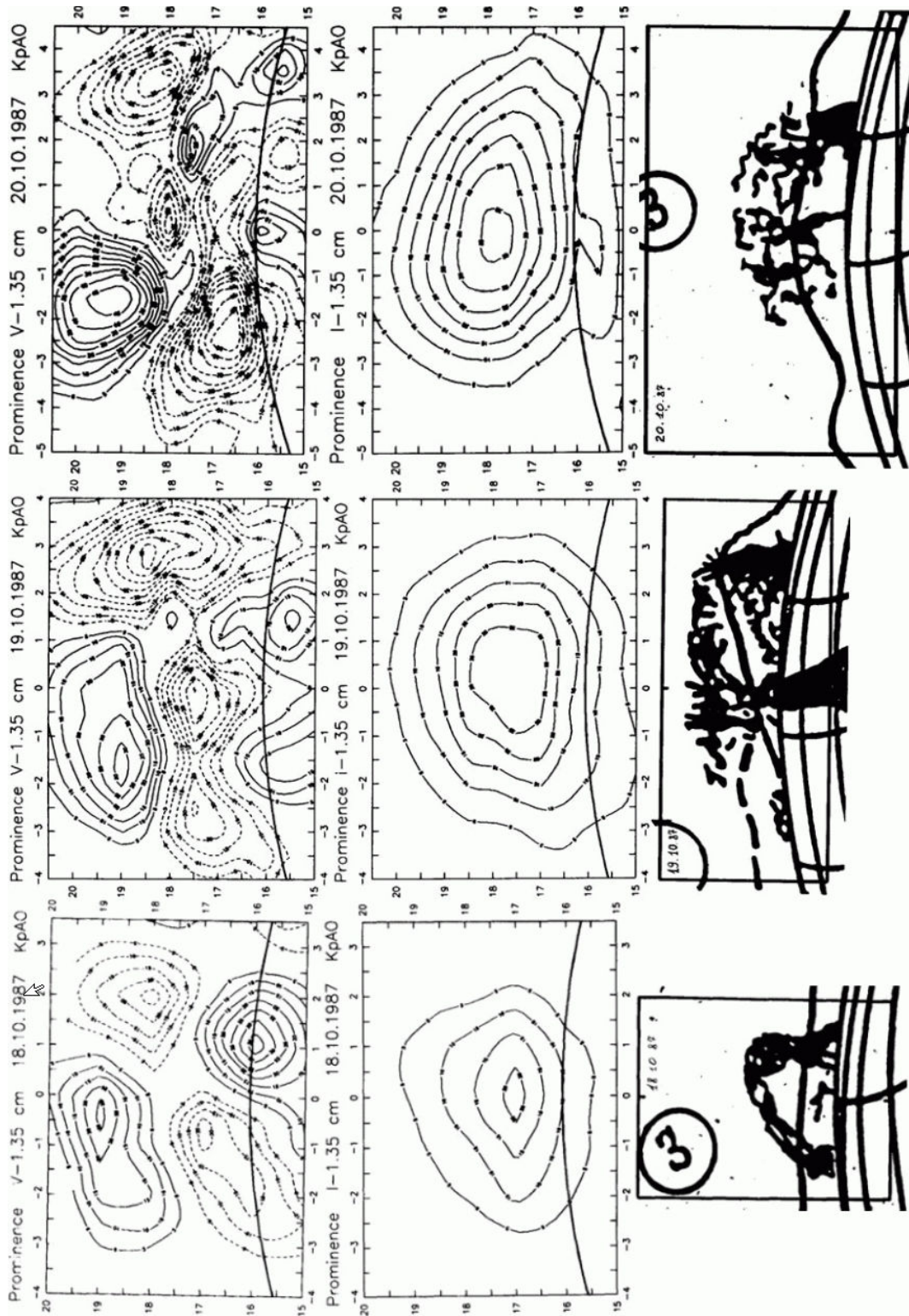


Рис. 1. Примеры изображений протуберанцев в радио (I и V) и оптике

На рис. 1 представлены карты ряда протуберанцев, полученные на волне 13.5 мм, и их оптические аналоги. Наблюдения выполнялись с помощью кругового сканирования прилиम्бовой зоны (Топчило, 1983). Для протуберанца в левом столбце (за 18.10.1987) в круговой поляризации видна характерная структура типа “розетки”, обусловленная кросс-поляризационными лепестками диаграммы направленности радиотелескопа. Собственная поляризация этого протуберанца мала. Для остальных двух протуберанцев явно видно наличие собственной поляризации в месте максимума интенсивности. В обоих этих случаях собственная поляризация показывает отличное от интенсивности пространственное распределение и сильно искажает вид кросс-поляризационных лепестков. По результатам первых наблюдений была проведена оценка величин МП (Апушкинский и др., 1990) в предположении теплового магнитотормозного механизма излучения по формулам (Богод и Гельфрейх, 1980) и (Апушкинский и др., 1990).

2.2 Наблюдения со скалярным рупором (1993 г.)

Для уменьшения уровня кросс-поляризационных лепестков в дальнейшем был разработан и изготовлен скалярный рупор, в результате применения которого отпала необходимость в сложной процедуре чистки изображения (Апушкинский и др., 1996).

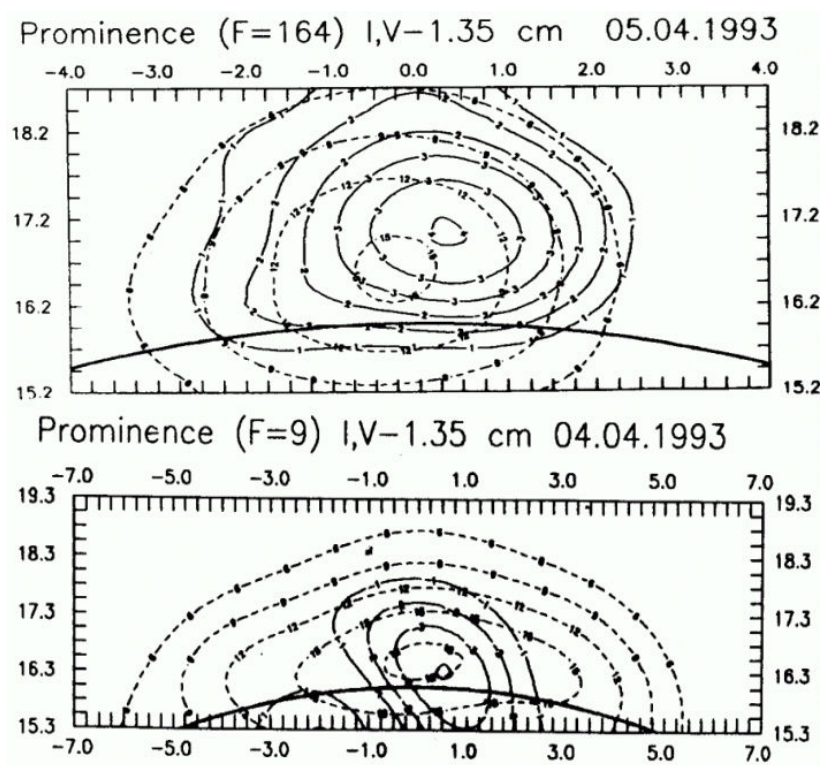


Рис. 2. Примеры наблюдений протуберанцев со скалярным рупором. Пунктиром изображены уровни сигналов в интенсивности, сплошными кривыми – в поляризации

Как и в наблюдениях с круглым рупором, в интенсивности наблюдается более-менее равномерное распределение яркости по протуберанцу. В поляризации же изображения часто имеют меньший размер, чем в интенсивности, смещены в сторону или вверх и не столь

однородны. Такое поведение мы связываем с геометрическим фактором (различие в углах зрения) или с неоднородностью МП вдоль протуберанца. Но детальный анализ с моделированием МП не проводился, а рассчитывались только средние величины МП

Величина ошибок измерений МП определяется совместным действием ошибок в каналах интенсивности и круговой поляризации. Основной источник ошибок в интенсивности – неточности движения радиотелескопа, а в поляризации – шумы приемника. По оценкам, полученным из совокупности прилиम्бовых сканов (рис. 3), шумовая дорожка в канале интенсивности не превышает $\pm 1\%$ от уровня спокойного Солнца, а в канале поляризации – $\pm 0.01\%$.

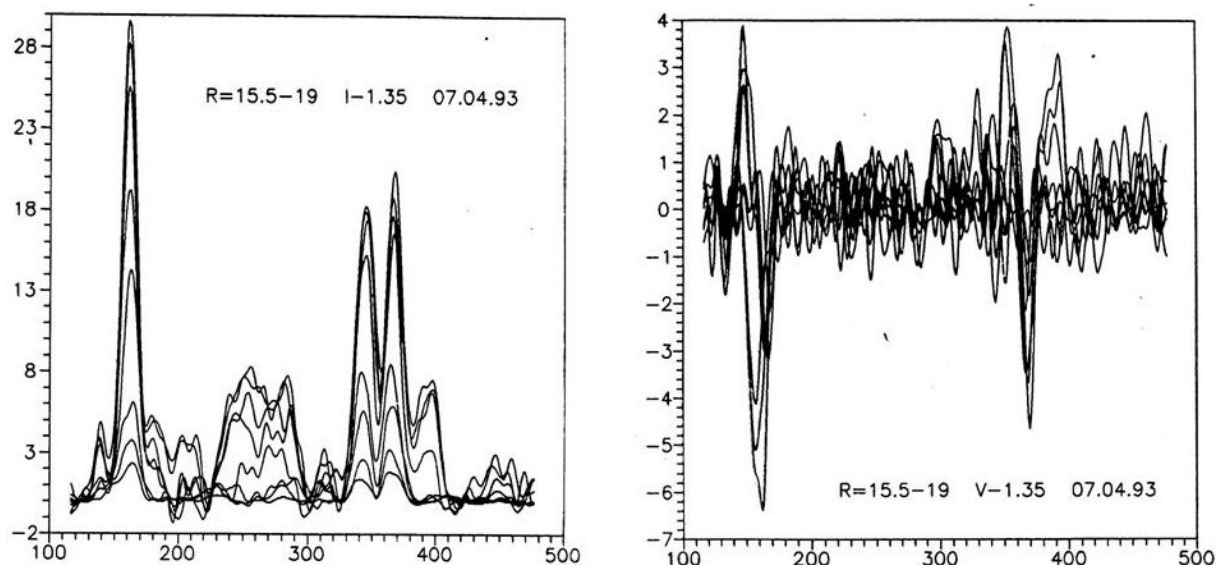


Рис. 3. Пример круговых сканов с удаленным фоновым уровнем в интенсивности (слева) и круговой поляризации (справа) при наблюдениях со скалярным рупором. Единица по оси ординат для интенсивности составляет 1% от уровня спокойного Солнца, а для канала поляризации – 0.01%

Наблюдения 1993 г. показали, что в интенсивности можно регистрировать практически все имеющиеся на лимбе протуберанцы. В поляризации же регистрируется около половины. Остальные имеют либо незначительную собственную поляризацию (малые МП), либо недостаточный полный поток. Степень поляризации собственного излучения на волне 13.5 мм в наблюдениях 1993 г. не превышала 1% . Всего за 28 дней наблюдений были измерены МП у 24 протуберанцев.

К сожалению, в силу определенных исторических обстоятельств, планировавшийся цикл наблюдений был вынужденно прекращен задолго до своего логического завершения. Однако и по имеющейся относительно небольшой выборке данных удалось сделать определенные статистические выводы относительно характеристик МП протуберанцев.

3 Результаты статистических исследований

Ниже, на рис. 4 в виде набора графиков представлена суммарная сводка полученных результатов. Подробное их описание, как и способ получения, можно получить из оригинальных статей:

- 1а, 1б – гистограммы распределения величин магнитных полей (Нестеров и др., 1996);

- 2 - зависимость величины магнитного поля от угла наклона луча зрения к длинной оси протуберанца (Топчило, Цыганов, 2001);
- 3 - зависимость величины магнитного поля в протуберанце от магнитного потока (Топчило, Цыганов, 1997).

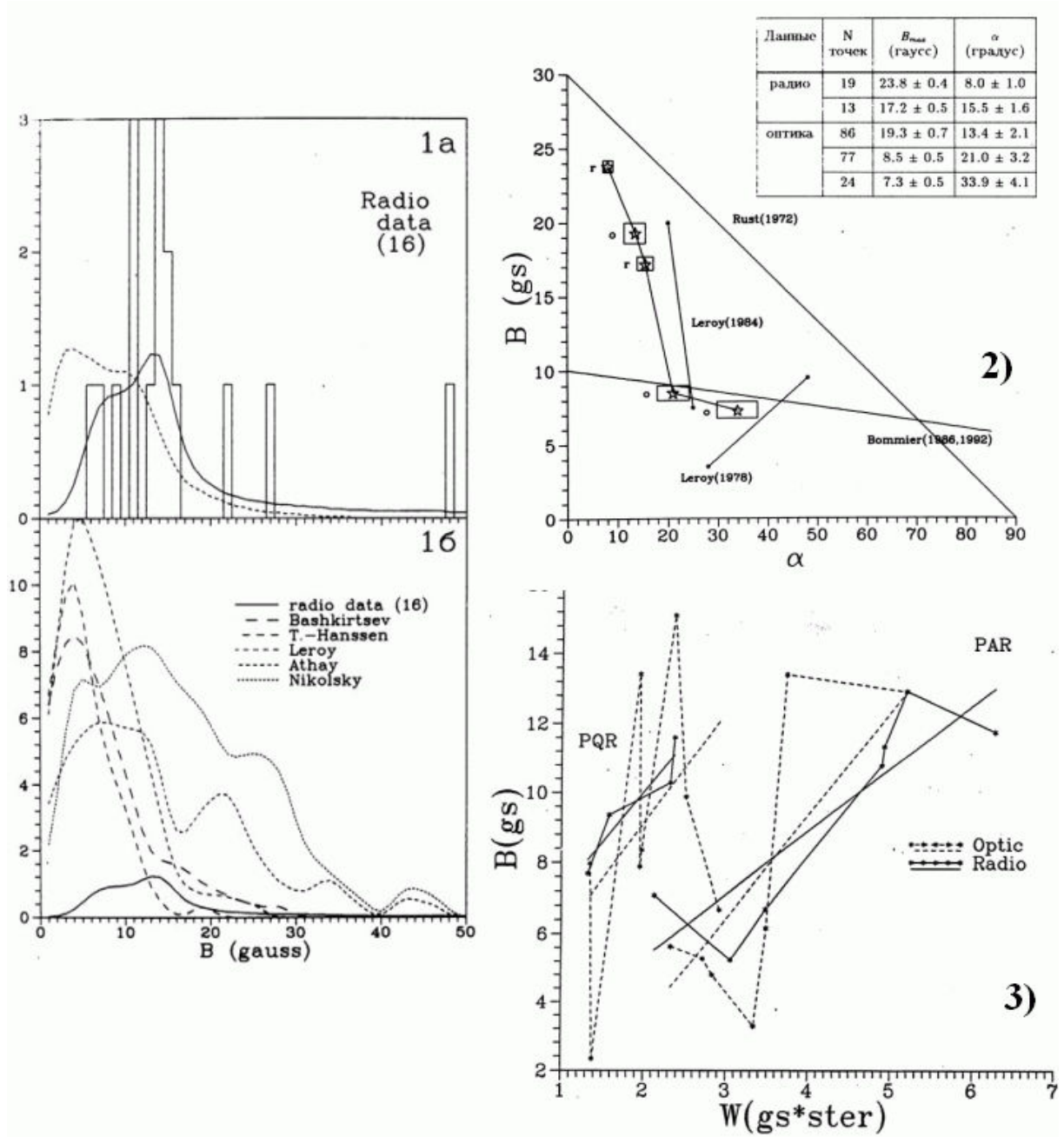


Рис. 4. Сравнение основных статистических закономерностей магнитных полей протуберанцев, полученных по радио и оптическим данным

Оценивая полученные результаты в целом, следует отметить качественное и, в значительной мере, количественное совпадение их с результатами статистических исследований, выполненных по измерениям в оптике.

4 Перспективы

Несмотря на очевидную нехватку пространственного разрешения, радиоизмерения МП продолжают представлять значительный интерес. Проведенные на РТ-22 исследования можно было бы расширить и дополнить по следующим направлениям:

- увеличение количества измерений МП (повышение статистической достоверности полученных результатов, выявление новых закономерностей, повышение точности измерений МП за счет наблюдения более крупных протуберанцев);
- наблюдение динамических явлений в протуберанцах (изучение изменений МП во времени);
- измерение поляризации на нескольких волнах (измерение градиента МП с глубиной);
- синхронные измерения МП в радио и оптике.

5 Заключение

Благодаря высокой чувствительности приемной аппаратуры и превосходной точности движения радиотелескопа РТ-22 КрАО нам удалось реализовать на телескопе метод кругового сканирования, что позволяет измерять степень поляризации и величину МП (или получить их верхние оценки) в любое время практически для всех присутствующих на лимбе протуберанцев.

Выполненные в эти годы на РТ-22 КрАО измерения до сих пор являются наиболее полными, точными и достоверными оценками магнитных полей спокойных протуберанцев, полученными в радиодиапазоне.

Литература

- Апушкинский и др. (Апушкинский Г.П., Нестеров Н.А., Топчило Н.А., Цыганов А.Н.) // Астрон. журн. 1990. Т. 67. N. 5. С. 1053.
- Апушкинский и др. (Апушкинский Г.П., Гундер К., Нестеров Н.А., Никитин Н.С., Стрепка И.Д., Топчило Н.А., Цыганов А.Н.) // Астрон. журн. 1996. Т. 73. N. 3. С. 436.
- Богод, Гельфрейх (Bogod V.M., Gelfreikh G.B.) // Solar Phys. 1980. V. 67. P. 29.
- Киппенхан, Шлютер (Kippenhahn R., Schluter A.) // Z. Astrophys. 1957. V. 43. P. 36.
- Куперус, Рааду (Kuperus M., Raadu M.A.) // Astron. Astrophys. 1974. V. 31. P. 189.
- Леруа (Leroy J.L.) // Dynamics and Structures of Quiescent Solar Prominences. Dordrecht: Kluwer. 1989. P. 77.
- Нестеров и др. (Нестеров Н.А., Топчило Н.А., Цыганов А.Н.) // Изв. ВУЗов “Радиофизика”. 1996. Т. 39. N. 11–12. С. 1443.
- Топчило Н.А., Цыганов А.Н. // XXVII радиоастрономическая конф. “Проблемы современной радиоастрономии”. СПб: ИПА РАН. 1997. Т. 2. С.38.
- Топчило Н.А., Цыганов А.Н. // Труды ГАИШ. 2001. Т. 71. С.139.
- Топчило Н.А. // Вестник ЛГУ. 1983. № 1. С. 99.
- Хирайама (Hirayama T.) // Solar Phys. 1985. V. 100. P. 415.