

АКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ НА СОЛНЦЕ. СТРУКТУРА АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ.

Г.Б. Гельфрейх

Главная астрономическая обсерватория АН СССР, Пулково

ACTIVE REGIONS ON THE SUN. STRUCTURE OF ACTIVE REGIONS: Understanding of physical processes on the Sun essentially depends on our knowledge of three-dimensional structure of the solar atmosphere. An effective tool in solving this problem is high-resolution radio observation with spectral and polarization analysis, which should be treated together with optical magnetograms, H_{α} -maps, coronal line and other data. Such set of data could be gained in frame of international cooperation, the KAPG programs including. The main part of radio-astronomical data has been obtained using the radio telescope RATAN-600 and also solar eclipse observations.

The structure of active regions at microwaves proved to be very complicated and includes: plage-associated component, sunspot-associated component, interspot component. The latter includes a number of sources tending to be associated with neutral line of photospheric magnetic field. While at the limb direct identification of a radio source with coronal loops in green coronal line has been demonstrated. Decimetric halo often envelopes the whole active region while coronal loops and arcs in this wavelength region consist only a small fraction of the total radio flux. A small bright feature at wavelength 8 mm was detected near the border separated the two sunspots of opposite magnetic polarities.

We realize the nature of radio emission generated above sunspot by thermal cyclotron mechanism, thermal bremsstrahlung from plage (faculae).

Significant fraction of inter-spot component and decimetric halo is difficult to treat in terms of known thermal mechanisms. We must propose either strong magnetic fields and current in the corona of large active regions or permanent acceleration of fast particles there (or both). Detailed models and discussions of the problem still needed.

AKTÍVNE OBLASTI NA SLNKU. ŠTRUKTÚRA AKTÍVNYCH OBLASTÍ: Chápanie fyzikálnych procesov na Slnku podstatne závisí na našom určení troj-rozmerných štruktúr slnečnej atmosféry. Efektívnym prostriedkom pri riešení tohto problému sú

rádiové pozorovania s vysokou rozlišovacou schopnosťou a spektrálnou a polarizačnou analýzou, spolu s meraním magnetických polí, H-alfa máp, koronálnych čiar a iných údajov. Takýto súbor údajov môže byť získaný v rámci medzinárodnej spolupráce, vrátane KAPG. Hlavná časť rádioastronomických meraní bola získaná na RATAN-e 600 a pomocou pozorovaní pri zatmení Slnka. Štruktúra aktívnych oblastí získaná na mikrovlnách je veľmi zložitá a obsahuje: zložku súvisiacu s fakulami resp. flokulami, zložku slnečných škvŕn a medziškvŕnovú zložku. Posledná zložka obsahuje väčší počet zdrojov súvisiacich s neutrálnou čiarou fotosférického magnetického poľa. Rádiové zdroje na okraji slnečného disku boli identifikované ako koronálne slučky, pozorované v zelenej koronálnej čiare. Decimetrové halo často obklopuje celú aktívnu oblasť, zatiaľ čo koronálne slučky a arkády v tejto oblasti tvoria iba malú časť celkového rádiového toku. Malý, jasný útvar na vlne 8 mm bol nameraný na hranici medzi dvoma škvŕnami opačných magnetických polarít.

Rádiová emisia nad slnečnými škvŕnami vzniká tepelným cyklotrónovým mechanizmom. Tepelným brzdným žiarením sa vysvetľuje emisia z flokul.

Medziškvŕnová zložka a decimetrové halo sa ťažko vysvetľuje tepelným mechanizmom. Vyžaduje sa buď silné magnetické pole v koróne, alebo nepretržité urýchľovanie častíc, alebo oboje. Detailné modely a diskusia problému je naďalej potrebná.

Понимание физики солнечных процессов, и прежде всего, переноса и выделения энергии в атмосфере (а следовательно, всех процессов солнечной активности) Солнца существенно связано с изучением ее структурных образований. При этом важно изучать структуру в трех-мерном физическом пространстве, а не ограничиваться ее тонкими "срезами", каковыми, например, являются снимки Солнца в белом свете или в линиях. Эта идея наиболее полно может сейчас реализоваться путем расширения диапазона волн из традиционных оптических наблюдений, в частности, на много октав в радиодиапазоне. Сооружение крупнейших современных радиотелескопов - РАТАН-600 и ССРТ (1, 2) в СССР, VLA - в США (3), WSRT (4) - в Голландии позволили в радионаблюдениях приблизиться (а иногда и превзойти) к разрешающей способности оптических телескопов, а в случае РАТАН-600 сочетать относительно высокую разрешающую способность (десяти секунд дуги) с подробным анализом спектра и поляризации. Это, в свою очередь, позволяет, согласно развитыми нами методами (5), анализировать магнитные поля, температуры, плотности и нетепловые процессы на разных уровнях в солнечной атмосфере.

Возможности радиоастрономических методов однако ограничены верхними частями солнечной атмосферы (начиная с хромосферы). Поэтому данные о фотосфере и частично хромосфере должны обеспечиваться оптическими наблюдениями. Преимуществом последних являются также возможность анализа большого числа спектральных линий, из которых (помимо прочих) получают данные о скоростях движения плазмы (которые почти отсутствуют в радионаблюдениях). Более полное и оперативное картографирование также свойственно оптическому методу. В связи с этим не теряют интерес сейчас и оптические наблюдения хромосферы и короны, хотя их возможности здесь сильно ограничены.

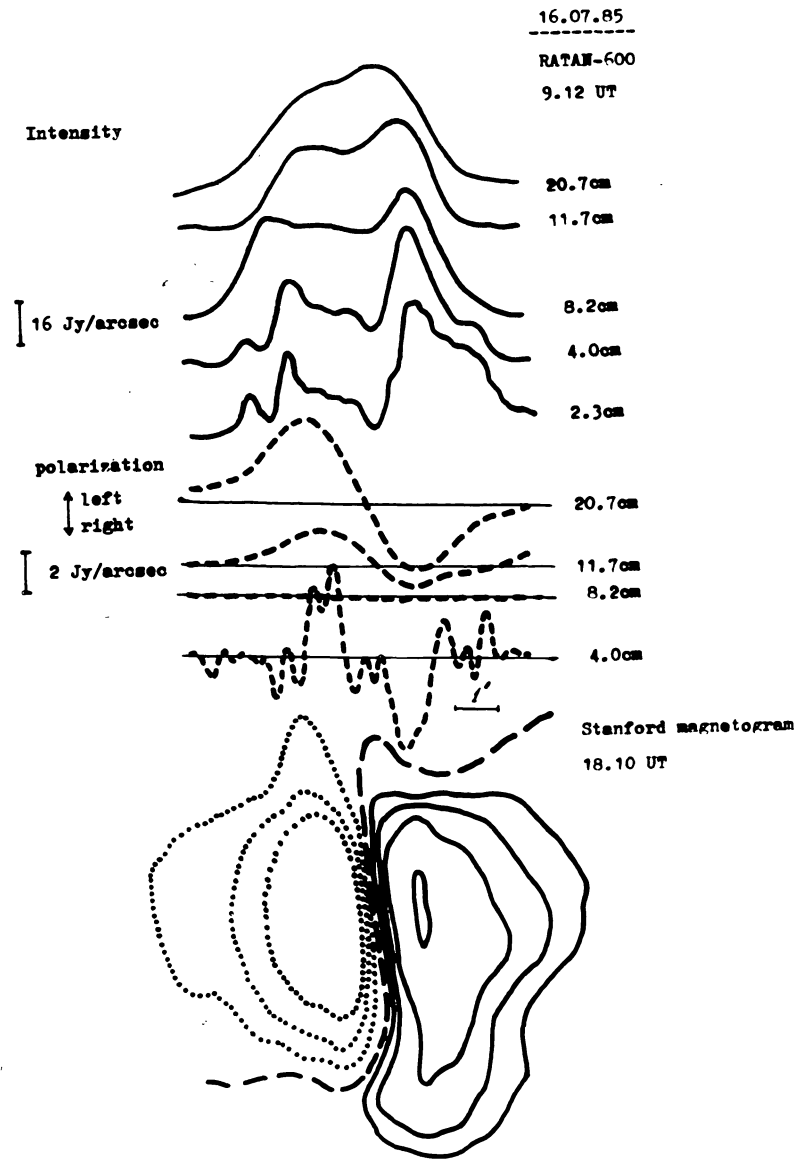


Рис. 1: Пример записей локального источника флюкула без пятен, расположенного в центре диска Солнца 15 июля 1985 г. на РАТАН-600. "Спокойное" Солнце исключено. Биполярная структура фотосферного магнитного поля приведена по Стенфордским магнитограммам. В коротковолновой части сантиметрового диапазона поляризация и спектр соответствуют магнитным полям с амплитудой несколько сотен Гс (по формуле (5)). Близкие напряженности поля могут быть получены, если считать, что поляризованное излучение на волне 20 см генерируется тепловым циклотронным механизмом (по формуле (3)).

Сложность и большая стоимость современных оптических, радиоастрономических и атмосферных наблюдений не позволяют развернуть их в полной мере на базе одного научного учреждения. Поэтому наиболее эффективные результаты могут быть достигнуты большими кооперативными программами, особенно, международными. В данном докладе подведен итог таких кооперативных исследований, проводившихся в рамках кооперации наблюдений на больших радиотелескопах СССР в 1981-1985 гг. с организацией параллельных оптических наблюдений Солнца. Часть этих работ выполнялась как реализация проекта № 4 КАПГ. При организации этих программ нами были взяты за основу программы наблюдений Солнца на радиотелескопе РАТАН-600, как наиболее крупном инструменте, позволявшем получить наиболее полные данные о структуре активных областей Солнца на большом числе длин волн с анализом поляризационных характеристик источников радиоизлучения. Трижды за указанный период параллельные согласованные наблюдения проводились также на большой антенне апертурного синтеза в США (VLA), организованные профессором К. Лангом и профессором М. Кунду.

Эффективность таких совместных исследований Солнца была нами на практике выяснена еще в период международной программы ГСМ (1979 и 1980 гг.), продолжением которых следует считать эти программы.

Ограниченный объем доклада позволяет нам остановиться лишь на отдельных примерах и резюмировать наиболее важные результаты. Следует особо подчеркнуть, что большая часть полученного наблюдательного материала осталась еще непроанализированной и должна составить значительную часть исследований в ближайшие годы. Заметим, наконец, что программа 1981 г. была связана с наблюдениями солнечного затмения 31 июля.

Период 1981 - 1985 гг. дал прекрасную возможность проследить на спадающей ветви цикла активные центры разной мощности, от самых крупных до умеренных и даже весьма малой мощности.

Начнем с основных результатов исследования структуры локальных источников радиоизлучения Солнца, связанных с активными областями, которые затем проиллюстрируем примерами данных наблюдений.

Структура радиоизображения активной области существенно зависит от длины волны, причем условно можно выделить следующие характерные области спектра: (а) миллиметровый диапазон ($\lambda < 2$ см), (б) короткие сантиметровые волны (2-5 см), (в) длинноволновая часть сантиметрового диапазона (5-8 см), (г) дециметровые волны.

Наибольший контраст источников проявляется в коротковолновой части сантиметрового диапазона. Наиболее четко здесь проявляются источники, связанные с пятнами ($4-10$) ($T_B = 10^5 - 3 \cdot 10^6$ К), часто сильно поляризованные по кругу (степень поляризации P достигает 100 %). Размеры их составляют десятки секунд дуги и обычно близки или меньше размеров пятен и даже ядер (отсюда термин "ядерная" или "пятенная" компонента), с которыми они к тому же почти совпадают по положению. Наблюдения на антеннах апертурного синтеза и методом затмений обнаружили "кольцевую" и "подковообразную" структуру этих источников. Механизм излучения - тепловой, циклотронный, считается надежно установленным. Анализ спектра и поляризации позволяет с большой точностью (до десятка Гс) измерять магнитное поле в короне и переходной области над пятном, по формулам:

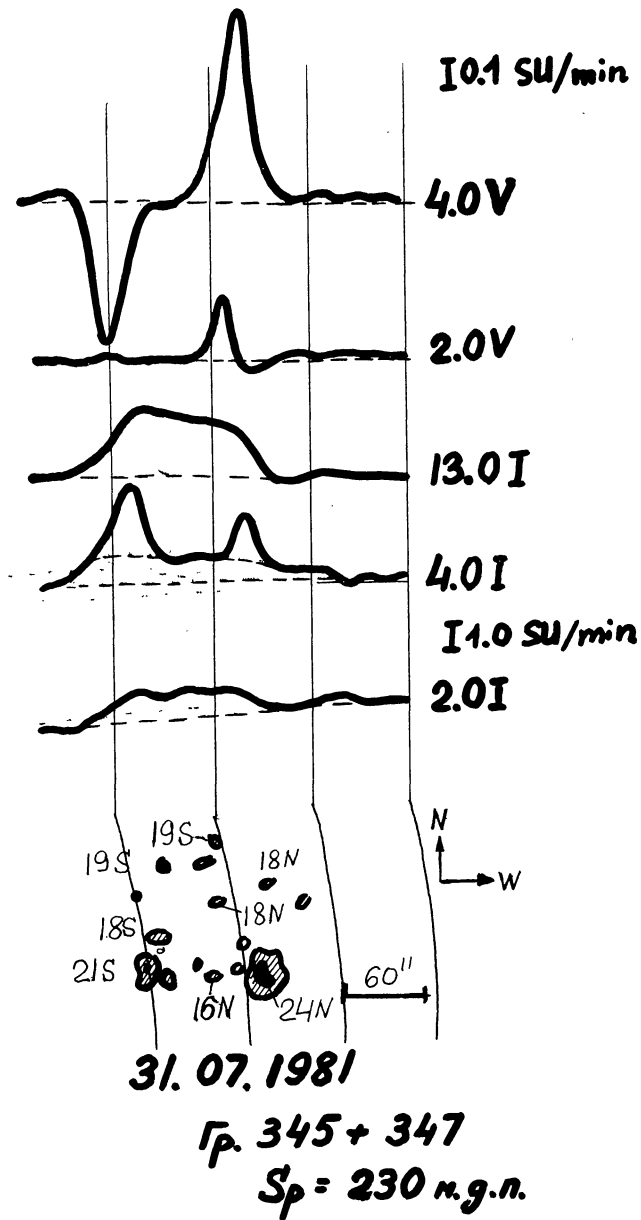


Рис. 2: Одномерное распределение яркости по локальному источнику группы пятен № 345 и 347 на волнах 2.0, 4.0 и 13.0 см, полученные из наблюдений солнечного затмения 31-го июля 1981 г. На волне 2.0 см доминирует межпятенная компонента, плоской формы вероятно корональная конденсация. В записи поляризованной компоненты 2.0 V виден источник типа "ядра" (циклотронное излучение) над большим пятном группы (поле $B=1800$ Гс согласно формуле (2)). На волне 4 см в общей интенсивности и в поляризованном излучении выделяются ядра над пятнами, и четко проявляется биполярная магнитная структура ($B=900$ Гс). Положение и размеры источника на волне 13 см соответствуют межпятенной плоской компоненте на коротких волнах. Поток₁₃ в 2-2.5 раза выше, чем поток₂₋₄.

$$B = 3570/\lambda \quad (\text{излучение на 3-ей гармонике гирочастоты}) \quad (1)$$

и

$$B = 5385/\lambda \quad (\text{на 2-й гармонике}) \quad (2)$$

В частности было показано, что магнитные поля в основании короны над пятнами лишь незначительно (на 20 - 30 %) ниже фотосферных значений, что свидетельствует об "опускании" короны над пятнами. Наличие кольцевой структуры у некоторых источников отчасти связано с направленностью механизма генерации излучения, но также свидетельствует об аномальном прогреве (до 3 - 5×10^6 °К) наружных частей силовой магнитной трубки пятна (повышенная диссипация МГД-волн?).

Имеются указания на диагностическую значимость радиоастрономической напряженности магнитного поля в короне. В частности, усиление магнитного поля в короне по радиоданным предшествовало развитию шумовых бурь - явного диагностического признака нетепловых процессов в короне над активной областью. При переходе в миллиметровую область спектра контраст пятенных источников резко падает. Однако над пятнами здесь иногда регистрируется увеличение яркости ($\sim 10^4$ °К) с относительно слабой поляризацией.

Пятенные источники проявляются как яркие ядра на фоне широкого диффузного уярчения над флюкулами (прирост $T_B = 10^4 - 3 \times 10^4$ °К) /11-12/. Степень поляризации $P \sim 1\%$. Механизм излучения - тормозной тепловой. По степени поляризации и наклону спектра удается оценить напряженность поля в верхней хромосфере (обычно десятки Гс) - порядка поля на фотосферном уровне). Открытым является важный вопрос о наличии тонкой структуры в этих источниках. Нельзя исключить, что в случае, если поле действительно сосредоточено в тонких силовых трубках (вероятно, на границах супергранул), то напряженность его может достигать сотен и тысяч Гс и роль магнитнотормозного механизма генерации (циклотронного излучения) может оказаться значительной.

В миллиметровой области спектра источники над флюкулами обуславливают основную часть излучения медленно меняющейся компоненты, но роль магнитнотормозного излучения здесь не может быть существенной из-за необходимости для его генерации слишком большой напряженности поля (4500 Гс на волне 8 мм). С другой стороны, анализ некоторых наблюдений на VLA ($\lambda = 6$ см) и РАТАН-600 указывает на магнитнотормозную природу флюкулярной компоненты. Таким образом, механизм генерации этой компоненты активных областей Солнца меняется с длиной волны. С конца 50-х годов источники над флюкулами на дециметровых волнах трактуют, как корональное излучение (преимущественно тормозное) активных областей. Яркостные температуры таких источников (10^6 °К), низкая поляризация (1 %) и их общая конфигурация согласуются с такой точкой зрения. Однако современные данные, в том числе полученные в последние годы на РАТАН-600, свидетельствуют о значительно более сложной (возможно, нетепловой) природе этих источников.

Пятна в группе связаны и окружены "галом" или "межпятенной компонентой" /13-17/, которая наиболее ярко проявляется между пятен ($T_B \sim 10^5$ °К); поляризация таких источников может достигать нескольких, иногда десятков, процентов.

В коротковолновой части сантиметрового диапазона в "галом" обычно доминирует вклад корональных конденсаций. Их тепловое тормозное излучение имеет плос-

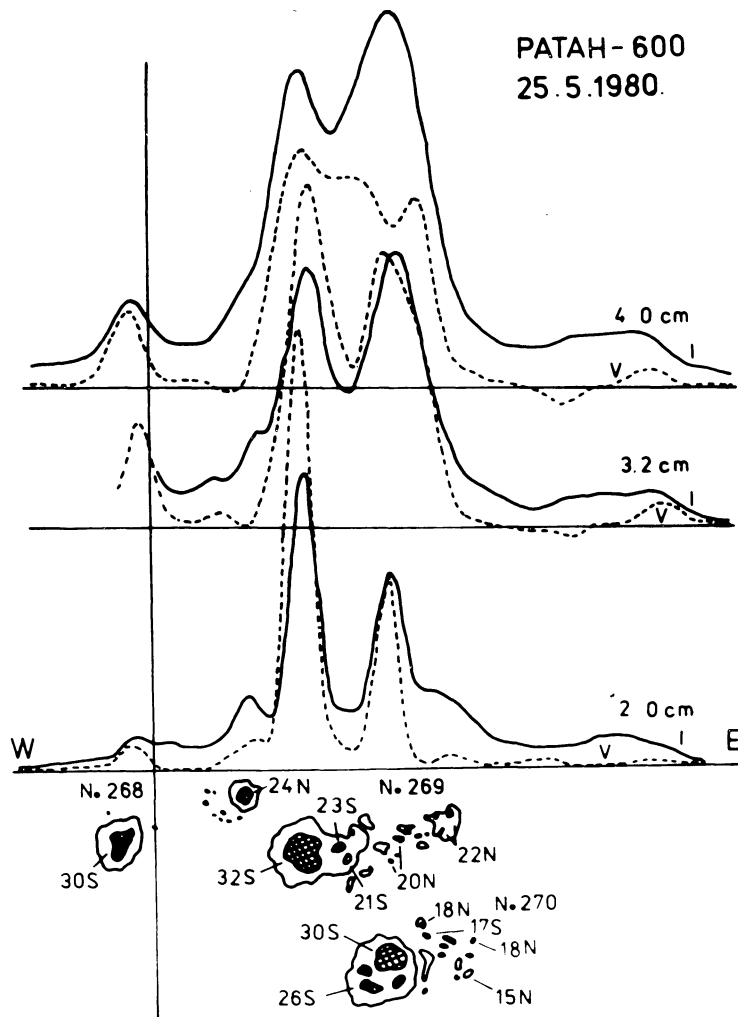


Рис. 3: Записи локального источника групп пятен № 268 и 270 (Солнечные данные) 25 мая 1980 г. на волнах 2.0 и 4.0 см, полученные на PATAH-600. В записи поляризованного по кругу излучения на волне 4 см (но не на волне 2 см) источник, помеченный стрелкой имеет явно выраженный провал яркости, отражающий вероятно, кольцеобразную структуру ядра. Двухмерные карты радиояркости, полученные М. Кунду на волне 6 см также показывают у этого источника кольцеобразную структуру, не только в поляризованном излучении, но и в полной интенсивности. Есть основания полагать, что такая кольцевая структура источников связана не только с направленностью циклотронного излучения, но и с более сильным нагревом короны на периферии пятна.

кий по потоку (или интенсивности) спектр в этой части диапазона. Поскольку при этом $T_B \propto \lambda^2$, вклад этого излучения убывает с длиной волны и едва ли заметен в миллиметровом диапазоне. Зато при переходе к длинноволновой части спектра (обычно при $\lambda \sim 4$ см) яркостная температура растет быстрее, чем λ^2 , что говорит о непригодности указанного механизмов генерации в его простейшем виде. При наблюдении локальных источников вблизи лимба можно исследовать высотное распределение плотности конденсации, используя соотношение

$$T_B \propto \lambda^2 \cdot ME \cdot T^{-1/2} \quad (3)$$

слабо зависящее от электронной температуры (для короны при оценке можно считать $T_e \approx 10^6$ °К) и сильно от электронной конденсации, т.к. мера эмиссии

$$ME = \int N_e^2 dl \quad (4)$$

При наличии заметной поляризации удается оценить магнитное поле и в отдельных случаях даже его распределение с высотой. Оно находится по формуле

$$B_l = P\% \cdot 108 / (\lambda \cdot \mu) \quad (5)$$

где B_l - среднее значение продольной компоненты поля, усредняемой с весовым множителем N_e^2 (поля обычно составляют десятки Гс на **высотах** в несколько десятков тысяч км). Корональные конденсации прослеживаются до высот порядка 10^5 км. В отдельных случаях они переходят в слабые источники, прослеживавшиеся на записях на несколько сотен **тысяч** км, которые естественно **отождествить** с корональными лучами.

При переходе к более длинным волнам ($\lambda > 4$ см) межпятенная компонента становится доминирующим излучением. В структуре источников, детально исследовавшейся на больших антеннах апертурного синтеза в диапазоне 6 см, проявляется целый ряд источников, чаще всего связанных с линиями раздела магнитной полярности. Многие из них можно рассматривать как основания высоких корональных арок или небольшие петли. В излучении большую роль играет тепловой циклотронный механизм (поля 600 - 900 Гс) или нетепловые механизмы.

В больших активных областях с сильно развитой вспышечной активностью пулковской группой были обнаружены компактные источники на границах разделов магнитных полярностей размером от 10 до 30 тысяч км с резко растущим спектром потоков, **высокими** яркостными температурами (до $5 \cdot 10^6$ °К). Высота этих источников оценивается в 10 - 15 тысяч км. По-видимому, они представляют низкие магнитные арки, в которых происходит аномальное выделение энергии, приводящее к нагреву плазмы и, возможно, ускорению частиц. Альтернативное объяснение их природы предполагает аномально высокие значения магнитного поля $(1-2) \cdot 10^3$ Гс на указанных высотах при сравнимых или меньших напряженностях поля на уровне фотосферы. В этом случае следует ожидать значительных токов в короне, что наводит на мысль о возможной связи таких источников с предсказываемыми теорией токовыми слоями. Тем более, что случаи появления этих источников связаны либо с близким расположением пятен противоположной магнитной полярности, либо с резкими изгибами нейтральной магнитной линии на фотосфере (известные критерии высокой вспышечной активности АО Солнца).

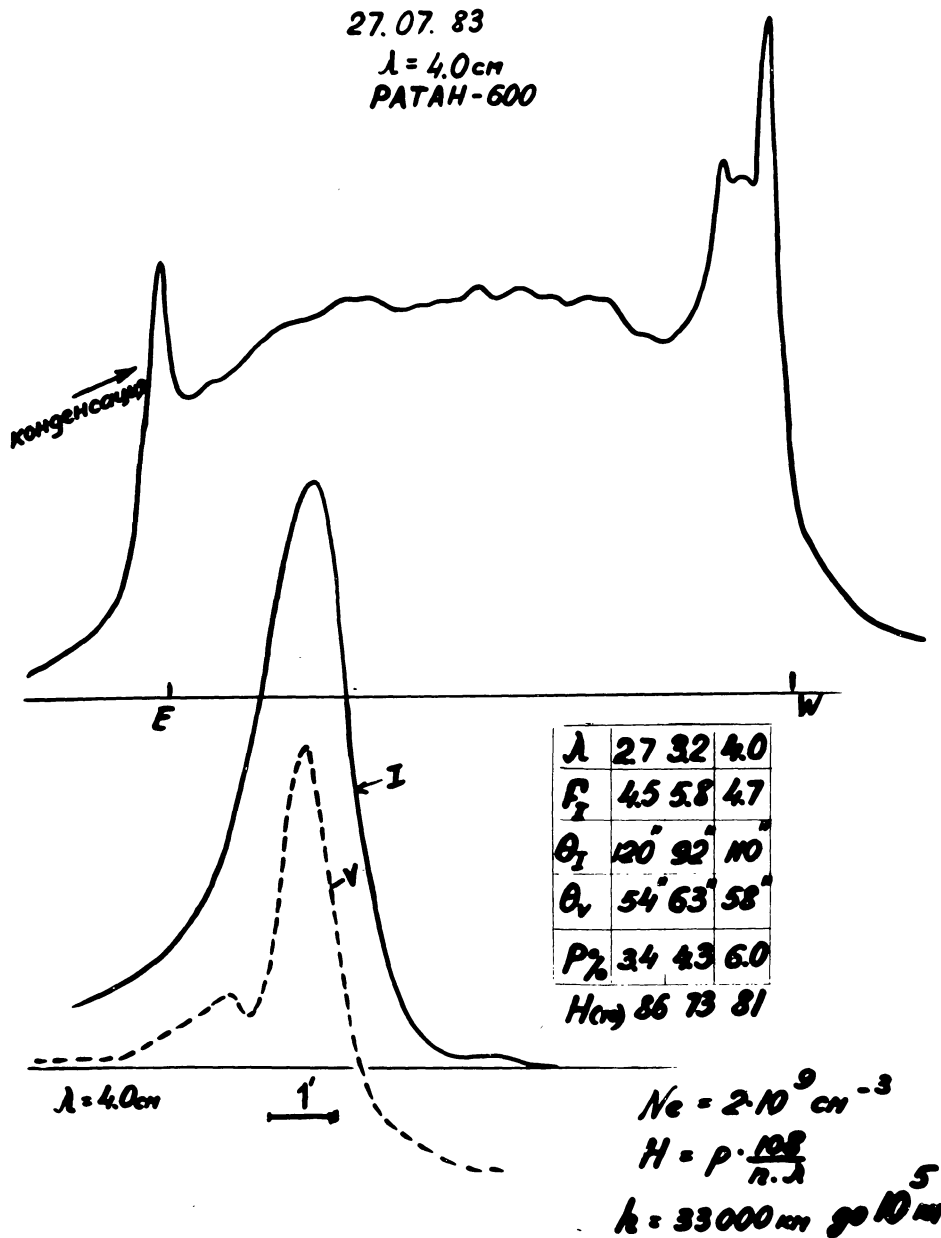


Рис. 4: Сканы в полной интенсивности и поляризованном потоке корональной конденсации на восточном лимбе Солнца, на волне 4 см, полученной с помощью РАТАН-600, 27 июля 1983 г. Потоки ее радиоизлучения: 4.5, 5.8 и 4.7 с.е.п. соответственно на волнах 2.7, 3.2 и 4.0 см свидетельствуют о плоском спектре и тормозном механизме генерации радиоизлучения. Магнитные поля, по формуле (5) где $P=2$, привели к $B=86, 73, 81$ Гс соответственных волн. Эти значения относятся к высоте $H=33000$ км над фотосферой, где находится наибольшая интенсивность излучения. Оценка N_e для этой высоты дает $N_e=2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$. Конденсация на записях прослеживается до высот $h \cdot 10^5$ км.

По данным РАТАН-600 /18-19/ переход к дециметровому диапазону в целом связан с упрощением структуры локальных источников, что лишь частично обусловлено более низким пространственным разрешением инструмента на длинных волнах. Степень поляризации локальных источников падает, редко превосходя несколько процентов. Часто проявляется общая (крупномасштабная) биполярная структура активной области. Яркостные температуры $T_B \sim 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$. Природа излучения этой компоненты до конца не ясна, так как переход к оценке ожидаемой яркости на сантиметровых волнах по формуле

$$T_B \propto \lambda^2 \quad (6)$$

приводит к завышенным значениям.

Совместные наблюдения одних и тех же областей в диапазоне 20 сантиметров на РАТАН-600 и VLA показали, что на описанный широкий источник, сравнимый с размером всей активной области, накладываются мелкие яркие детали, расположенные вблизи линий раздела магнитной полярности (вероятно, корональные арки или их детали). Однако такие детали в мощной активной области (с приростом яркостной температуры до $3 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$) составляют в общем потоке локального источника лишь величину порядка 1%.

В слабых активных областях наблюдались только такие мелкие детали (арки?) без широкого мощного источника.

Представленные на рисунках 1 - 10 результаты наблюдений источников, выполненные в основном, по программам "Июль 1981", "Июль 1982", "Июль 1983", "Июль 1984" и "Июль 1985" позволяют проследить указанные особенности структуры активных областей Солнца.

Приведенный анализ показал, что совокупность оптических наблюдений фотосферы и хромосферы, магнитограмм в соединении со спектрально-поляризационными наблюдениями в радиодиапазоне при наличии высокого пространственного разрешения позволяет выявить важные особенности в структуре активных областей Солнца, включая анализ температуры, плотности, магнитных полей на разных уровнях солнечной атмосферы и продиагностировать проявление нетепловых процессов (аномального прогрева, ускорение частиц, локальных токов, плазменной турбулентности). При этом следует иметь в виду, что в то время, как диагностика термической плазмы, включая магнитные поля, достаточно хорошо развита и дает уверенно числовые оценки, диагностика нетепловых процессов уверенно свидетельствует лишь о самом факте, в то время как методика анализа физических условий в этих особых локальных областях еще надлежит создать. Важность ее для выяснения природы нагрева солнечной короны и процессов взрывного энерговыделения в ней (вспышек) не вызывает сомнений.

Результаты наблюдений и их анализа, приведенные в качестве иллюстраций в данной работе, были получены с участием автора сотрудниками ГАО и САО АН СССР и Ленинградского политехнического института: В.Е. Абрамовым-Максимовым, Ш.В. Ахмедовым, В.М. Богодом, В.Н. Боровик, С.В. Ватрушиным, В.Н. Диким, А.Н. Коржавиным, В. Комаровым, З.Е. Петровым, В. Шатиловым. Всем им автор приносит искреннюю благодарность за представление и подготовку материалов для данного обзорного сообщения.

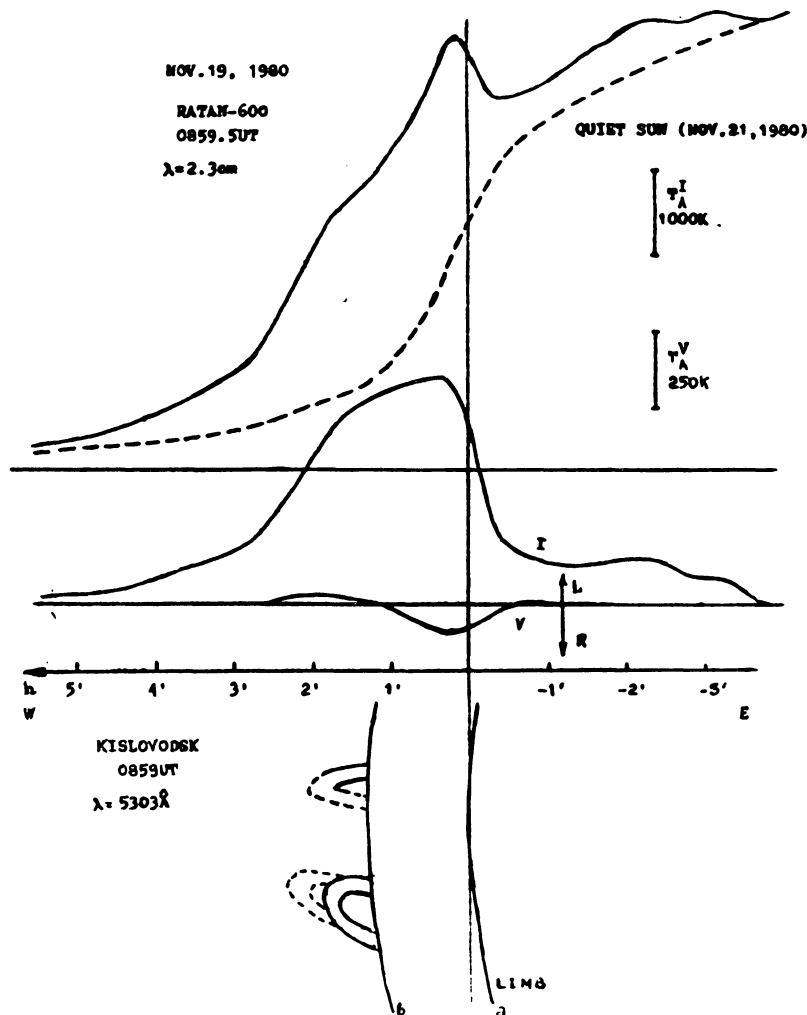


Рис. 5: Запись радиоизлучения корональной конденсации на западном лимбе Солнца на волне 2.3 см, 19 ноября 1980 г., полученная с помощью RATAN-600. Верхняя часть рисунка - копия оригинальной записи (пунктир - уровень спокойного Солнца). Ниже представлена та же запись, но с вычетом "спокойного Солнца", а также запись в поляризованном излучении. Вниз приведены схематические рисунки петель соответствующей корональной конденсации, сделанные по снимкам в зеленой корональной линии (5305 Å) на ГАС ГАО АН СССР в Кисловодске. Оценка магнитного поля в этом случае дает $B = 20$ Гс на высоте $90 \cdot 10^3$ км.

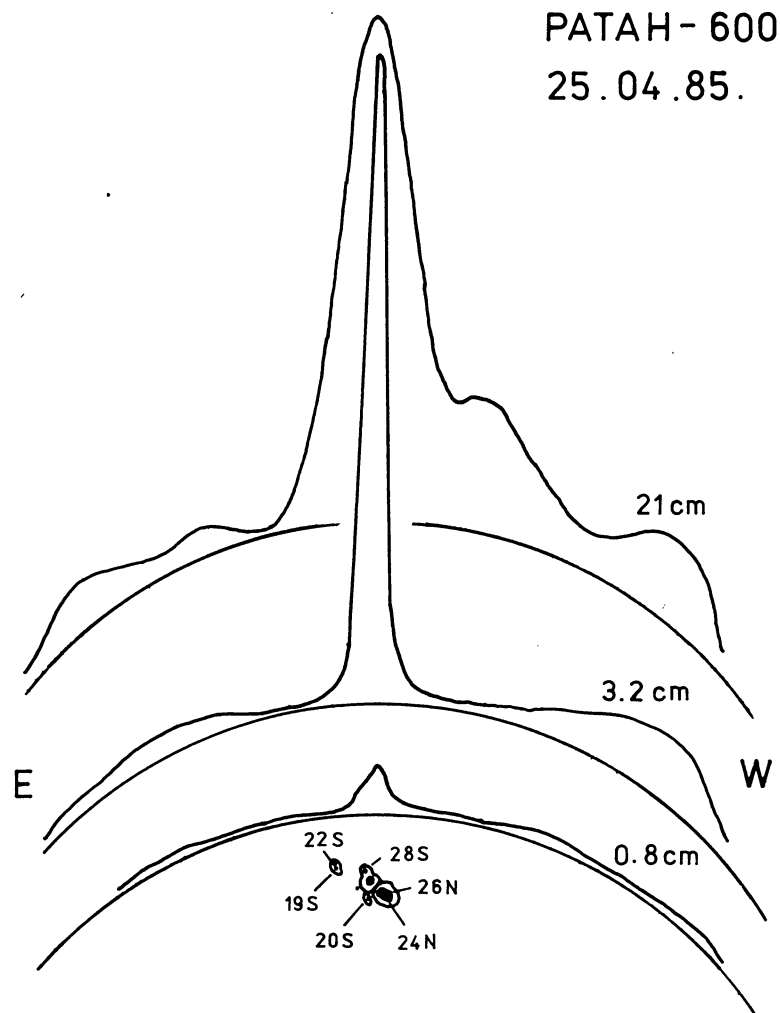


Рис. 6: Записи радиоизлучения Солнца 25 апреля 1985 г. (кривые прохождения через диаграмму направленности ПАТАН-600) на волнах 0.8, 3.2 и 21 см. Локальный источник на волне 8 мм, связанный с группой пятен, имеет максимум, проектирующийся на область раздела магнитных полярностей двух близко расположенных пятен. Накануне в этой активной области произошла протонная вспышка. Время жизни источника по крайней мере несколько суток. На записи на волне 21 см следует обратить внимание на повышенное излучение над всей западной частью солнечного диска, где нет ни сильных пятен, ни значительных источников в сантиметровом диапазоне волн (3.2 см).

15.07.82
PATAN-600

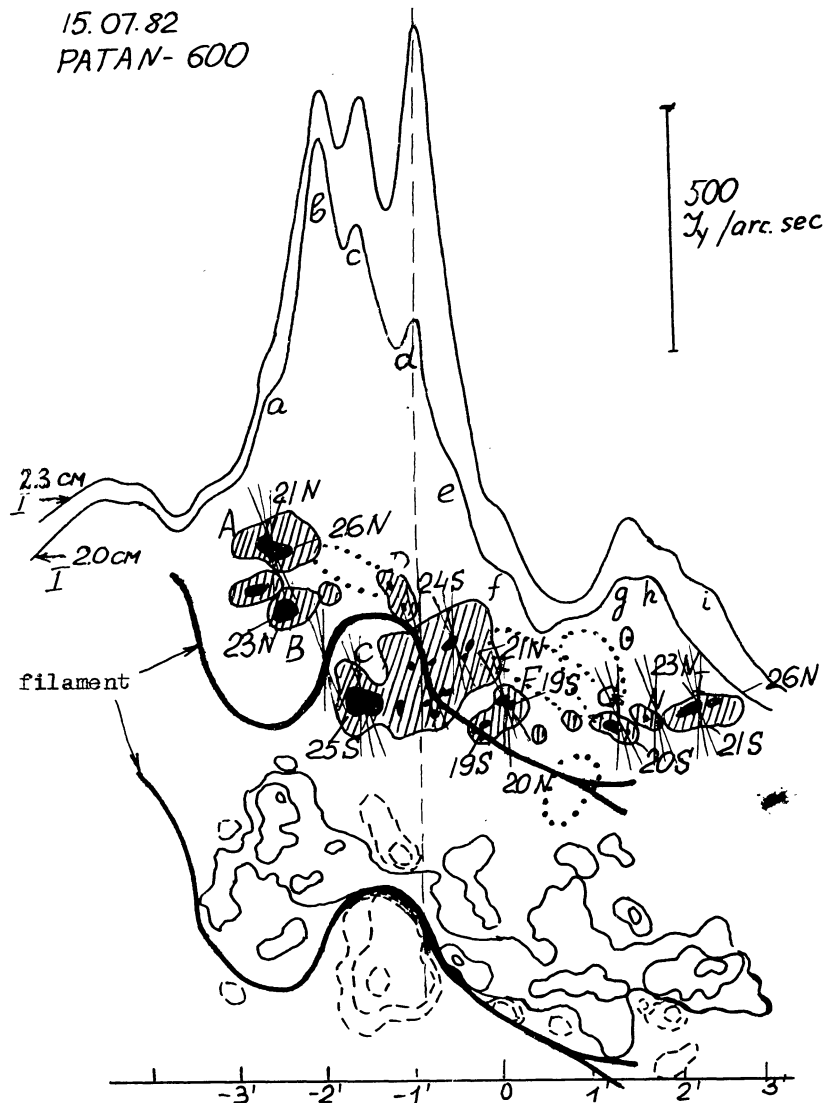


Рис. 7: Радиосканы мощной активной области на волнах 2.3 и 2.0 см полученные с помощью ПАТАН-600 15 июля 1982 г. Положение источников радиоизлучения, отмеченных на сканах малыми латинскими буквами, на оптической карте активной области помечены заглавными латинскими буквами) того же наименования, которые стоят у пересечения черточек, показывающих направления большой оси диаграммы направленности радиотелескопа (в точках пересечения). Магнитограмма, полученная в Потсдаме, приведена внизу рисунка. Следует обратить особое внимание на источник — , лежащий на линии раздела магнитной полярности. Он отличается резко растущим с длиной волны спектром потоков (похожим на спектр ядер локальных источников). Левый источник лежащий на линии раздела магнитных полярностей имеет плоский спектр потоков и связан, по-видимому с корональной конденсацией (петлей). Остальные источники — в основном обычные "ядра", расположенные над отдельными пятнами, хорошо выделяющимися на уровне фотосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М. Богод, Г.Б. Гельфрейх, З.Е. Петров. Автоматизированный солнечный спектрально-поляризационный комплекс ИКАР-16 на радиотелескопе РАТАН-600. *Астрофизические исследования*, 20, 1985, 102-116.
2. Ш.Б. Ахмедов, В.М. Богод, Г.Б. Гельфрейх, И. Хильдебрандт, А. Крюгер, А. Н. Коржавин. Типы солнечных радиоисточников - компоненты и солнечно-земные связи. *Солнечные данные*, № 5, 1985, 68-72.
3. Ш.Б. Ахмедов, В.М. Богод, Г.Б. Гельфрейх. Результаты исследования локального источника активной области 15972 по программе Г С М по наблюдениям на РАТАН-600. - В кн. "Год солнечного максимума", Москва, 1981, т.2, 45-52.
4. G.B. Gelfreikh, V.E. Abramov-Maksimov, Sh.B.Akhmedov, V.M. Bogod. Peculiarities of the structure of the atmosphere above sunspots as found from radio, optical and EUV observations. *SMA Workshop, (June, 1985), Irkutsk, (Abstracts of papers)*, 1985, 28-20.
5. Г.Б. Гельфрейх. Макроволновая диагностика магнитных полей на Солнце. -В кн.: *Динамика токовых слоев и физика солнечной активности*, Рига, Зинатне, 1982, 416-424.
6. Г.Б. Гельфрейх, А.Н. Коваль, Н.Н. Степанян. Ослабление магнитного поля пятен с высотой от фотосферы к короне. -В кн. "Год солнечного максимума", Москва, 1981, т. 2, 193-196.
7. Ш.Б. Ахмедов, Г.Б. Гельфрейх, А. Крюгер, Ф. Фюрстенберг, И. Хильдебрандт. О структуре магнитных полей над солнечными пятнами по наблюдениям на РАТАН-600. *Солнечные данные*, № 10, 1982, 72-77.
8. Sh.B. Akhmedov, G.B. Gelfreikh, V.M. Bogod, A.N. Korzhavin: The measurement of magnetic fields in the solar atmosphere above sunspot using gyroresonance emission, *Solar Phys.* v. 79, 1982, 41-58.
9. В.Е. Абрамов-Максимов, Г.Б. Гельфрейх. Магнитное поле солнечного пятна на высоте переходной области между хромосферой и короной. *Письма в АЖ*, 9, № 4, 1983, 244-250.
10. Г.Б. Гельфрейх, В.И. Жуков. Кольцеобразная структура источников радиоизлучения и особенности нагрева короны над солнечными пятнами. -В сб. "Колебания и волны на Солнце". Тезисы докладов. Рига, "Зинатне", 1986, 30-31.
11. Sh.B. Akhmedov, G.B. Gelfreikh, F. Furstenberg, J. Hildebrandt, A. Kruger: On the height scale of magnetic fields above sunspots from RATAN-600 observations. *Solar Phys.* v. 88, 1983, 103-108.
12. A. Kruger, F. Furstenberg, J. Hildebrandt, Sh.B. Akhmedov, V.M. Bogod, A.N. Korzhavin: On the height scale of magnetic field above sunspots derived from RATAN-600 observations and model calculations. *Publ. of Debrecen heliophys. obs.* v. 5, 1983, 619-629.
13. Ш.Б. Ахмедов, В.М. Богод, В.Н. Боровик, Г.Б. Гельфрейх, В.Н. Дикий, Д.В. Корольков, А.Н. Коржавин, Л.А. Пустильник, В.Е. Сорель. Результаты наблюдения солнечного затмения 31 июля 1981 г. на волнах 2.0, 4.0, 13 и 28 см. *Исследования по геомагнетизму, астрономии и физике Солнца*, вып. 62, 1982, 172-181.

14. Ш.Б. Ахмедов, В.М. Богод, В.Н. Боровик, Г.В. Гельфрейх, И.А. Ипатова, В. Н. Дикий, А.Н. Коржавин, З.Е. Петров, В.А. Шатилов, А.Н. Мотренко. Результаты наблюдения развитых активных областей на Солнце в июле-августе 1983 г. на РАТАН-600 на десяти волнах см- и дм- диапазона. XVI Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы. Тезисы докладов. (Звенигород, октябрь 1984 г.), Москва, 1984, с. 21.
15. Sh.B. Akhmedov, V.M. Bogod, G.V. Gelfreikh, V.N. Borovik, A.N. Korzhavin: On the search of current sheets in the solar atmosphere using radio observations. Solar Maximum Analysis Workshop, (June, 1985), Irkutsk, (Abstracts of papers), 1985, 4-5.
16. Г.В. Гельфрейх, Т.А. Братова, А.А. Гнездилов. О связи локальных источников сантиметрового радиоизлучения Солнца с шумовыми бурями по наблюдениям на РАТАН-600. -Письма в АЖ, 58, 9, 1983, с. 495.
17. Ш.Б. Ахмедов, В.М. Богод, В.Н. Боровик, Г.В. Гельфрейх, Р.Ф. Вильсон, В. Н. Дикий, А.Н. Коржавин, К.Р. Ланг, З.Е. Петров. Структура активных областей на Солнце по наблюдениям на РАТАН-600 в июле 1982 г. (Часть : А 3804) Препринт № 19Л. САО АН СССР, Ленинград, 1985, 60 стр.
18. В.М. Богод, Г.В. Гельфрейх, В.Н. Дикий, А.Н. Коржавин, В.Е. Сорель. Пробные наблюдения Солнца на РАТАН-600 в дециметровом диапазоне волн. Тезисы докладов на XIII Всесоюзной конференции по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы. Киев, "Наукова думка", 1981, 16.
19. В.Е. Абрамов-Максимов, Ш.Б. Ахмедов, В.М. Богод, В.Н. Боровик, С.М. Ватрушин, Г.В. Гельфрейх, В.Н. Дикий, И.А. Ипатова, А.Н. Коржавин, З.Е. Петров, В.А. Шатилов. Сравнительные особенности излучения локальных источников в см- и дм- диапазонах. Тезисы докладов республиканской конференции "Радиоастрономические исследования солнечной системы" (Одесса, сентябрь 1985 г.). Киев, 1985, 3-4.

DISCUSSION

В.М. Григорьев

В каком соотношении находятся радиоданные и оптические данные о магнитных полях ? Почему радионапряженности оказываются выше ?

Г.В. Гельфрейх

В ряде случаев радиоастрономические и оптические значения напряженности поля флюктулов совпадают. В примере, приведенном в докладе, напряженность по радиоданным в несколько раз выше, возможно, что причина расхождения обусловлена неоднородностями солнечной атмосферы. Радиоизлучение должно генерироваться в областях с наибольшей напряженностью поля.

L. Křivský

Какой вид имеет нулевая линия в радиодиапазоне ?

Г.В. Гельфрейх

Наблюдения на больших антеннах показывают появление источников повышенного радиоизлучения (петель) в районе нейтральной линии. Но в целом картина (даже если ограничится см-диапазоном) очень сложная и содержит много компонент радиоизлучения.