

Исследованию эффективной площади радиотелескопа

С. А. Тюльбашев^{1,*}

¹*Пуцинская радиоастрономическая обсерватория,*

Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Пушкино, Россия

Показаны способы оценки эффективной площади радиотелескопа на примере антенны БСА. В приложении рассмотрены программы, позволяющие оценивать эффективную площадь антенны, а также служебные программы, формирующие паспорта наблюдений источников. Приведено справочное руководство по программам.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Эффективная площадь антенны — это величина, характеризующая способность антенны собирать падающее на нее излучение. На практике чем больше геометрическая площадь антенны, тем больше ее эффективная площадь. Регулярные измерения эффективной площади антенны позволяют отслеживать ее физическое состояние и правильность работы всех систем.

Поэтому на радиотелескопах есть службы, которые на регулярной основе занимаются исследованием состояния радиотелескопа. В задачи таких служб входит мониторинг помеховой обстановки, оценка эффективной площади телескопа, оценка его флуктуационной чувствительности, выявление источников помех, а затем и устранение этих помех.

В настоящей работе рассматриваются некоторые из способов, позволяющих оценивать эффективную площадь радиотелескопа.

Подавляющую часть наблюдений на БСА занимают наблюдения дискретных

* E-mail: serg@prao.psn.ru

источников. При записи дискретного источника большую часть времени идет ожидание того, когда источник начнет проходить через меридиан. Только в эти 10-20 минут и идет реальная запись на приемник. Т.о., реальные наблюдения состоят из записей исследуемых источников и "дыр", которые могут занимать куски времени достаточные для записи дополнительных дискретных источников в автоматическом режиме. Следовательно, если есть простой метод, позволяющий оценивать эффективную площадь по наблюдениям дискретных источников, можно оценивать эффективную площадь БСА ежедневно.

Для такого рода мониторинговых наблюдений нужно иметь большой список сильных дискретных источников, а также сервисные программы, при помощи которых готовятся паспорта наблюдений и ведется обработка наблюдений.

2. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ АНТЕННЫ БСА

1) Первый способ.

Методика измерения эффективной площади данным способом подробно описана в техническом отчете группы под руководством Г.Т. Смирнова за 2003 год. Поэтому, не углубляясь в детали, приведем лишь суть метода. Эффективная площадь антенны — это параметр, связывающий отклик антенны на дискретный источник (в единицах температуры) с потоком от этого источника (в единицах плотности потока).

$$A_{\text{эффективное}} = \frac{2kT_A}{S_{\text{источника}}}, \quad (1)$$

В идеальном случае необходимо подать на антенну из дальней зоны сигнал известной мощности, сравнить этот сигнал с величиной отклика от какого-либо дискретного источника и, таким образом, прокалибровать дискретный источник в единицах температуры. К сожалению, для БСА — это до сих пор нереализованный метод.

Т.к. БСА является неподвижной антенной, то ее эффективная площадь будет максимальной в зените и минимальной на горизонте. Добавим, что БСА

является антенной у которой есть набор из 256 фиксированных лучей (диаграмм направленности), направленных на небо в строго определенные места по высоте над горизонтом. Направление на источник может не совпадать с направлением луча диаграммы и для наблюдений подбирается луч с максимально близкими координатами. На практике луч БСА сопоставляется со склонением и на принятом жаргоне называется "строкой". Наблюдаемые источники могут попадать не точно в строку, а между строками, следовательно, эффективная площадь будет максимальной, когда источник попадает точно в строку и будет уменьшаться, когда источник попадает между строк. Похожая ситуация имеется и с задержками, которые определяют положение лучей по склонению. Поэтому, если необходимо определить эффективную площадь БСА во всех направлениях, то необходимо иметь несколько сотен сильных дискретных источников, провести соответствующие наблюдения, и в результате получить очень сложную картину, показывающую как эффективная площадь меняется в зависимости от зенитного расстояния, от включенной задержки и от точного или неточного попадания источника в строку. В группе эксплуатации для удобства сравнения эффективной площади обычно используют $S_{\text{наблюдаемое}}$ вместо $S_{\text{источника}}$. Фактически — это пересчет эффективной площади БСА на направление в зенит. При этом легко сравнивать эффективные площади, полученные по источникам, находящимся на любых склонениях. В реальных реализациях программ был использован параметр $S_{\text{наблюдаемое}}$.

Реальные наблюдения, по которым оценивается эффективная площадь могут проводится несколькими разными способами. Например, подается ступенька от генератора шума на вход приемника. При этом сигнал от генератора шума проходит лишь через цепи приемника, а сигнал от источника путешествует несколько сот метров (где затухает), и по дороге проходит через три каскада усилителей (где усиливается). Следовательно, чтобы сравнить сигнал от генератора шума с сигналом от источника необходимо точно знать во сколько раз усилился сигнал в конечном счете (т.е. знать коэффициент передачи (K_p)). Для этого от приемника отсоединяют один из входов от антенны, подсоединяют нагрузку 75ом (эквивалент сопротивления антенны). Прописывают сигнал, который не был усилен каскадами антенных усилителей. Затем

подсоединяют вход от антенны к приемнику и включают другой эквивалент, который находится до первого каскада усилителей (эквивалент 256). Если на эквиваленте приемника дополнительно прописать ступеньку от генератора шума, то появится возможность найти разницу между уровнями (температурами) двух эквивалентов выраженную в ступеньках шумового генератора. С другой стороны, температура среды (а именно при этой температуре находятся "эквиваленты") известна, и известен коэффициент усиления первого этажа N , что позволяет записать эту же разницу между уровнями (температурами), но с использованием K_p .

$$\text{Разница уровней относительная} = \frac{T_{\text{экв.антенны}} - T_{\text{экв.приемника}}}{T_{\text{шум.генератора}} - T_{\text{экв.приемника}}} \times \Delta \times 435, \text{ (Кельвин)} \quad (2)$$

$$\text{Разница уровней абсолютная} = T_0 \times N \times K_p, \text{ (Кельвин)} \quad (3)$$

$$K_p = \frac{\frac{T_{\text{экв.антенны}} - T_{\text{экв.приемника}}}{T_{\text{шум.генератора}} - T_{\text{экв.приемника}}} \times \Delta \times 435}{T_0 \times N}, \quad (4)$$

где, Δ — это высота ступеньки в миллиамперах, а 435 — это коэффициент, позволяющий пересчитывать миллиамперы в температуру. После получения коэффициента передачи появляется возможность сравнивать отклик от дискретного источника, со ступенькой от шумового генератора и, выражать этот отклик в единицах температуры, т.е. получать T_A . Далее по формуле 1 вычисляется эффективная площадь антенны.

Главным недостатком этого способа является то, что при его использовании необходимо точно знать коэффициент передачи, который зависит от того, какие задержки включены на БСА, включены ли петли север или юг, в каких строках идут наблюдения. Он зависит также от температуры среды, от стабильности работы усилителей и т.д.. В частности, наши измерения K_p в зависимости от того, какие строки и задержки включены, показали, что он может меняться до 15% от своего среднего значения. Возможная зависимость от температуры не проверялась, как и возможные нестабильности по времени. Более того, любые работы на БСА, в ходе которых будут

заменяться кабели, или меняться приемник, или старый приемник будет переносится в новое место, приведут к тому, что коэффициенты передачи придется вновь определять. Поэтому недостатки такой схемы очевидны.

2) Второй способ.

Другой способ был предложен Г.Т. Смирновым. Он отличается тем, что его использование не требует знания коэффициента передачи. Проведем наблюдения по следующей схеме. Запишем дискретный источник с известной плотностью потока. По окончании записи включим эквивалент антенны (на входе первого этажа усилителей БСА), через некоторое время в приемнике введем ослабление 20-30 децибел. Затем, через небольшой промежуток времени (в наших записях через 1-2 минуты), завершим запись. Рассмотрим приращения температур.

$$\Delta U_S = g \times T_A; \quad \Delta U_E = g \times T_E \Rightarrow \frac{\Delta U_E}{\Delta U_S} = \frac{T_E}{T_A}, \quad (5)$$

где U_S и U_E — сигналы источника и эквивалента в единицах АЦП; T_A и T_E — температуры источника и эквивалента входе антенных усилителей в градусах; g — коэффициент передачи от входа антенных усилителей до выхода АЦП. Суть процедуры, отражаемой формулой 5, заключается в том, что сигнал источника в единицах АЦП можно получить, если прописаны нули источника. Для оценки же сигнала эквивалента необходимо иметь уровень отсчета. В качестве этого уровня выступает тот же самый эквивалент антенны, но подавленный на 20-30 децибел. При этом его сигнал будет измерен с погрешностью $\leq 1\%$. С другой стороны:

$$T_E = T_0 \times F, \quad (6)$$

где T_0 — температура окружающей среды; F — средний коэффициент шума антенных усилителей.

Подставляя T_E из формулы 6 в формулу 5, можно выразить T_A :

$$T_A = \frac{T_0 \times F \times \Delta U_S}{\Delta U_E} \quad (7)$$

Полученная температура источника (T_A) используется в свою очередь для оценки эффективной площади БСА согласно формуле 1.

3) Третий способ

Является наиболее простым, но на данный момент все еще в стадии испытаний. На БСА появилась техническая возможность поставить генератор шума ДО первого этажа усилителей. Генератор имеет высокую стабильность и известную температуру сигнала. Поэтому можно отключить антенну и послать сигнал известной мощности на приемник, а можно включить антенну и прописать радиоисточник известной плотности потока. Учитывая температуру окружающей среды и сравнивая высоту сигнала от генератора шума с высотой источника по формуле 1 можно оценить эффективную площадь антенны БСА.

3. ЗАТРУДНЕНИЯ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВОЗНИКНУТЬ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ

а) Решенные проблемы

Для максимальной автоматизации процесса наблюдений и обработки наблюдений, необходимо иметь набор калибровочных источников, по которым будет определяться эффективная площадь БСА. Также нужна программа, которая может пересчитывать координату источника на день наблюдения так, чтобы при этом формировался паспорт, непосредственно пригодный для запуска этих наблюдений. Далее нужна программа, которая позволяет обрабатывать наблюдения, и выходным параметром которой является эффективная площадь. В приложении помещены соответствующие описания каталога и программ.

б) Нерешенные проблемы

В записи, по которой будет определяться эффективная площадь антенны, можно увидеть четыре независимых куса. Это сам дискретный источник, запись ступеньки от генератора шума (необходима для реализации первого метода оценки эффективной площади), запись эквивалента антенны и запись эквивалента антенны при включении дополнительных 30 децибел (для реализации второго метода). Стандартная программа

запуска устроена таким образом, что она выставляет усиление приемника, а затем ожидает время запуска. После запуска программа проверяет, сколько точек нужно записать в файл. Как только нужное количество точек записано, программа входит в режим ожидания следующего источника. В стандартной программе записи не предусмотрена возможность переключения в ходе записи на эквивалент или на включение генератора шума. Более того, нет штатного генератора шума, который может управляться от компьютера. Управление эквивалентом от компьютера формально есть, но в реальной программе запуска управления БСА не реализовано. Т.о., в ходе наблюдений приходится все время в ручном режиме делать соответствующие переключения, а это означает, что без оператора такие наблюдения невозможны. В дело вмешивается человеческий фактор, и поэтому, невозможно устроить автоматическую обработку наблюдений. Включения эквивалента или генератора шума произвольны во времени. Поэтому лишь при просмотре исходной записи можно выяснить, как долго длилось включение и во сколько оно началось. В связи с этим, нами реализована программа ручной обработки источников.

в) Проблемы нерешаемые в ближайшей перспективе

Для оценки эффективной площади используются дискретные источники с известной плотностью потока. Однако, при реальных наблюдениях на БСА источник чаще всего попадает не по центру диаграммы направленности по склонению. Следовательно, необходимо вводить поправки в плотность потока. Это поправки за косинус зенитного расстояния, за попадание источника между строками, за попадание источника не точно по центру диаграммы направленности при включенных задержках. Есть формулы, которые позволяют точно рассчитать все поправки, если известны точные координаты источника. Проблемы заключаются в том, что, во-первых, из-за взаимных связей между диполями эффективная площадь телескопа падает не по закону косинуса зенитного расстояния, и, во-вторых, вероятны смещения координаты источника по разным причинам (например из-за ионосферы).

Согласно работе коллектива, занимавшегося перестройкой БСА на частоту 111 МГц падение эффективной площади БСА может отличаться от падения по закону косинуса

высоты источника на 10% из-за взаимных связей между диполями. Внешне должно быть похоже, что на косинусоиду, которая имеет максимум в зените и ноль на горизонте, накладывается еще одна косинусоида с периодом в 10-15 градусов и небольшой амплитудой. Однако, полного исследования этих взаимных связей не сделано и, следовательно, после учета всех поправок плотность потока дискретного источника может отличаться от истинной как минимум на 10%.

Согласно оценкам В.И. Шишова ионосфера может довольно сильно смещать координату источника. Мы же предполагаем, что координаты источника неизменны, и, исходя из этих неизменных координат, делаем все необходимые поправки. Смещение координат источника может быть настолько велико, что в худших случаях плотность потока источника уменьшается в два раза от истинной плотности потока. Следовательно, если мы хотим давать точные поправки, нужно знать точную координату источника из самих наблюдений. Исходя из этой точной координаты, и нужно давать все необходимые поправки. Для этого необходимо делать записи источника в строках и смещенных строках (штрих строках) одновременно, и только такая одновременная(!!!) запись даст возможность восстановить точную координату источника. Т.к. в ближайшей перспективе у нас нет и не будет возможности делать такие записи, необходимо найти какое-то паллиативное решение.

Возможное решение проблемы заключается в том, что помимо записей дискретных источников, по которым впоследствии определяется эффективная площадь телескопа, делаются 5-10 записей калибровочных источников. Отдельный калибровочный источник может иметь после всех поправок завышенную или заниженную плотность потока по сравнению с теоретической, однако, если усреднить данные по всем 5-10 источникам, то получившаяся калибровочная шкала имеет погрешности в оценках плотности потока не превышающие 20%. Далее обрабатываем источник, по которому будет оцениваться эффективная площадь. Для этого оцениваем его наблюдаемую плотность потока исходя из получившейся калибровочной шкалы. Данный способ позволяет обойти проблему связей между диполями и возможное смещение координат.

ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Сервисные программы для подготовки паспорта наблюдений

Для подсчета строк и задержек были использованы формулы, полученные С.М. Кутузовым. Приводим эти формулы, а также логику работы программ.

$$\delta_{m,p} = \phi + \psi - \arcsin\left[\left(\frac{m-1}{32} + \frac{f_0}{f_p} \times p\right) \times \frac{12.5}{f_0} + U_0\right] \quad (8)$$

Здесь f_p — частота наблюдений в МГц; $f_0 = 111$ МГц; $U_0 = 0.244$ — синус угла наклона электрической оси от нормали; m — номер луча ($m = 1, 3, 5, \dots, 31$ — номера несмещенных лучей, а $m = 2, 4, 6, \dots, 32$ — номера смещенных лучей. В практике антенны БСА несмещенные лучи имеют номера $1, 2, 3, \dots, 16$, а смещенные лучи имеют номера $1', 2', 3', \dots, 16'$); $\phi = 54^\circ 49'$ — это широта местности; $\psi = 20' 31''$ — отклонение антенны от нормали; p — номер порядка решетки, в которой мы смотрим луч ($-8 < p \leq 6$). Программа подготовки паспортов наблюдений должна взять координаты источника на 1950 год, перевести их на день наблюдений, и найти, к каким строкам и задержкам получившееся значение координат ближе всего. Т.е. найти, когда

$$\Delta = \delta_{m,p} - \delta_{\text{источника на день наблюдений}} \quad (9)$$

принимает минимальное значение. Δ_{min} — дает нам значение m , которое может быть числом от 1 до 32 и которое мы переводим в паспорте в значение строки, если m нечетное или значение штрих-строки — если m четное.

Далее определяем какое значение задержки (τ) нужно выставить.

$$\delta_{\Delta,n} = \phi + \psi - \arcsin\left[n \times \frac{\Delta}{d} + U_0\right] \quad (10)$$

Здесь $d = 1.5$ метра — расстояние между рядами диполей; ϕ и ψ — те же, что и для уравнения 5; $n = -15, -14, -13, \dots, 0, 1, 2, \dots, 14, 15$ — количество дискретных рядов задержки; $\Delta = 0.0725$ метра — дискретный шаг задержки; $n \equiv \tau$ — на БСА принято соглашение, по которому при выставлении антенны в определенном направлении говорится, что выставлена такая-то строка и такое-то тау. Подобно тому,

как для строк ищется строка с минимальным расстоянием от истинных координат источника, ищется тау, при котором также достигается минимум выражения

$$\Delta = \delta_{\text{всевожможных задержек } n} - \delta_{\text{источника на день наблюдений}} \quad (11)$$

Полученные таким образом строки и тау используются при формировании паспорта наблюдений.

1) Автоматический режим

В программе автоматической организации паспорта наблюдений главной целью было сделать максимально простой интерфейс. После запуска программы *preparing.exe* и ответа на несколько вопросов программа формирует паспорта наблюдений источников по каталогу дискретных источников представленному в приложении III. Т.е. для правильной работы программы необходимо, чтобы в директории помимо самой программы содержался весь каталог или любые выбранные из него источники в произвольном порядке.

Ниже приводятся вопросы интерфейса и краткие комментарии к ним:

vedite imia vyhodnogo fajla — введите имя файла, в котором будет содержаться вспомогательная информация. Это может быть любое имя, кроме уже существующих в данной директории;

vedite imia fajla s dannymi dlja nabliudenij — введите название файла (таблицы), в которой содержится информация по источникам;

vedite datu nabliudenij - dd mm yyyy — введите дату наблюдений в указанном формате, например 01 01 2005;

Паспорта будут записаны в файлы типа *4c08.glx*, где *08* — номер источника в таблице.

2) Ручной режим

Если необходимо провести наблюдения источника, который отсутствует в каталоге можно при помощи программы *manual.exe* сформировать паспорт наблюдений. Для этого нужно запустить программу и последовательно ответить на вопросы,

появляющиеся на экране:

vedite imia istochnika (ne > 15 simvolov) — можно ввести ЛЮБОЕ имя не более 15 символов. При обработке данная информация используется, как вспомогательная;

vedite uslovnnoe oboznachenie istochnika — надо ввести любое двузначное число для обозначения источника в паспорте. Например, если Вы вводите 22, то в паспорте источник будет прописан как 4С22. В том случае, если в текущий день проводились наблюдения, заданный номер должен отличаться от номеров наблюдавшихся источников;

vedite alfa-chasy — альфа-часы (целое число);

vedite alfa-minuty — альфа-минуты (целое число);

vedite alfa-sekundy — альфа-секунды (целое число);

vedite delta-gradusy — дельта-градусы (целое число). Внимание! Если дельта отрицательное, то и градусы и минуты и секунды должны быть со знаком –!

vedite delta-minuty — дельта-минуты (целое число);

vedite delta-sekundy — дельта-секунды (целое число);

*vedite chastotu nabliudenij*10, t.e., naprimer, 1115 dlia f=111.5* — частота наблюдений вводится в формате целого числа, как реальная частота умноженная на 10, т.е. 1110 для частоты 111.0 МГц;

vedite chastotu oprosa v otschetah v sekundu t.e., naprimer – 10 dlia 0.1s ili 20 dlia 0.05s — частота опроса вводится, как количество ОТСЧЕТОВ В СЕКУНДУ, т.е. если введено 20, то разрешение = $1/20 = 0.05\text{с}$;

esli istochnik kalibrovochnyj – vedite 0 esli istochnik osnovnoj – vedite 1 — введите 0, если источник наблюдается, как калибровочный или 1, если источник наблюдается, как основной;

vedite nomer pervogo kanala — введите номер первого канала (например, 1);

vedite nomer poslednego kanala — введите номер последнего канала (например, 4) *vedite potok istochnika na 111 MHz v formate 24.7* — введите плотность потока источника на частоте 111 МГц. Информация при обработке используется как вспомогательная, поэтому, если поток не известен (например, если Вы проводите тест), можно ввести

любое число в требуемом формате (например, *22.2* — означает, что поток источника *22.2 Ян*);

vedite datu nabludeniј - dd mm yyyy — введите дату наблюдений в указанном формате, например *01 01 2005*;

Паспорта будут записаны в файлы типа *4c08.glx*, где *08* — указанное Вами условное обозначение источника.

II. Программа подсчета эффективной площади

Т.к. в ближайшем будущем не будет возможности автоматизировать наблюдения полностью, вынужденной мерой остается ввод многих параметров с клавиатуры. Подавляющая часть указаний с экрана является однотипной, потому что в процессе работы выполняются одни и те же процедуры.

Так в случае наблюдений источников по классической схеме получения оценок эффективной площади с использованием "самокалибровки" и коэффициента передачи, необходимо определить границы начала и конца ступеньки ШГ (это позволяет оценить высоту ступеньки ШГ в единицах АЦП), определить границы, где будет вычитаться фон и выделяться источник. После каждой процедуры необходим графический вывод на экран, с тем, чтобы убедиться, что наши действия проведены корректно.

Если мы используем классическую схему, но при этом имеем наблюдения калибровочных источников, то вместо процедуры самокалибровки необходимо провести обработку наблюдений калибровочных источников и извлечь цену деления, позволяющую переводить в дальнейшем единицы АЦП в янские. При обработке калибровочных источников нужно правильно отделять фон от источника (т.е. правильно задавать границы, в которых на источнике видны нули диаграммы направленности БСА). После получения цены деления используется та же схема, что и в абзаце выше. Внутреннее устройство программ разное. Однако вопросы на экране дисплея будут повторяться.

В случае использования схемы, предложенной Г.Т. Смирновым, вместо высоты ступеньки ШГ нам предстоит определить разницу высот между эквивалентом 256 и

эквивалентом 256+30децибел.

Т.е., суть программ будет разной, однако внешние интерфейсы очень похожи. Поэтому ниже мы подробно описываем одну из программ, а далее указываем лишь те особенности, которые отличают одну программу от другой.

Программа вычисления эффективной площади с использованием коэффициента передачи называется *eff_area_method_1.exe*. После запуска программа просит ввести дату наблюдений:

vedite datu nabljudenij dd,mm,yy — нужно ввести дату в формате *01 11 04*. Если в корневой директории найдутся файлы записей источников за введенное число, то программа перейдет к их последовательной обработке, иначе - закончит работу. В случае продолжения работы, на экране появится информация об обрабатываемом источнике, например:

Istochnik 4c14 4c39_45 3c338

Pause - Please enter a blank line (to continue) or a DOS command. Здесь *4c14* — это условный номер источника в таблице, *4c39_45* — номер источника в *4c* каталоге (если есть), *3c338* — номер источника в *3c* каталоге (если есть). Нажмите *Enter* для продолжения работы.

sejchas Vy prosmotrite ishodnyj massiv vyberite intervaly na nuliah do i posle istochnika dlia vychitanija priamoj

Pause - Please enter a blank line (to continue) or a DOS command. Здесь программа предупреждает, что после просмотра записи источника, Вам необходимо будет выбрать 2 интервала на нулях до и после источника для вычитания нулевого уровня. Нажмите *Enter*. Программа переходит в графический режим.

Write q for quit or anything to continue — нажмите *q*, если Вы не хотите просматривать запись на экране, либо *Enter* для продолжения работы. Программа предложит выбрать канал для просмотра.

number of channel — введите номер канала, который Вы хотите просмотреть (как правило, источник пишется в 3 канале).

Write x_start and number points on the screen. Необходимо ввести начальную точку для

графика и число точек, которое будет отображаться на экране (если верхняя граница превышает число точек в массиве, программа обрежет график по последней точке массива).

y_max=: y_min=:

Pause - Please enter a blank line (to continue) or a DOS command. *y_max* и *y_min* — это максимальное и минимальное значение в массиве (вспомогательная информация, исходя из которой программа самостоятельно масштабирует оси). Нажмите *Enter* для продолжения работы. Программа нарисует график. В левом верхнем углу отображается вспомогательная информация. Отметьте для себя интервалы для вычитания нуля. Нажмите *Enter*.

Write your plans:

New points - p

New channel - c

Quit - anything — введите *p*, если хотите просмотреть другие точки на экране, *c* — если хотите просмотреть другой канал, либо *Enter* для продолжения.

prodoljaem obrabotku? 1-da — введите *1* для продолжения обработки или любую другую цифру для перехода к обработке следующего источника (например, если запись данного источника Вам не понравилась)

1 interval dlia priamoj — введите первый интервал для вычитания нуля, нажмите *Enter*.

2 interval dlia priamoj — введите второй интервал для вычитания нулевого уровня. Нажмите *Enter*

Write q for quit or anything to continue — нажмите *q* для выхода из графического режима или *Enter* для продолжения работы.

Write x_start and number points on the screen: — введите начальную точку для нового графика и число точек, которое будет отображаться на экране. После просмотра графика нажмите *Enter*.

Write your plans:

New points - p

Quit - anything

— введите p , если хотите просмотреть другие точки на экране, либо *Enter* для продолжения.

hotite vybratj drugie točki? 1-da, если после просмотра нового графика Вы решили, что нулевой уровень вычтен неправильно, введите 1 и повторите процедуру вычитания.

Введите любую другую цифру для продолжения работы.

Eslj nabl velisj po letnemu vremeni vvedite 1, inache 0 — введите 1 , если наблюдения велись по летнему времени и 0 , если по зимнему времени.

vvedite chislo toček v kontse zapisi dlia iskliuchenija ekvivalentov. Если в конце Вашей записи присутствует запись эквивалентов, ее необходимо отрезать. Введите число точек в конце массива для исключения эквивалентов из дальнейшей обработки.

sejchas Vy prosmotrite ishodnyj massiv

vyberite intervaly dlia nulej do i posle stupeni

i dlia vershiny stupeni,

a takje chislo toček s nachala zapisi

dlia posledujushchego iskliuchenija stupeni

Pause - Please enter a blank line (to continue) or a DOS command — программа предупреждает, что при просмотре исходной записи Вам необходимо будет выбрать интервалы на нулях до и после ступени, а также на вершине ступени для последующего вычисления величины ступени в единицах АЦП. Кроме того, Вам необходимо будет ввести число точек с начала записи, включающее ступень, для ее исключения из дальнейшей обработки. Нажмите *Enter*, программа переходит в графический режим.

Write q for quit or anything to continue — нажмите q для выхода из графического режима или *Enter* для продолжения работы.

Write x_start and number points on the screen: — введите начальную точку для графика и число точек, которое будет отображаться на экране. После просмотра графика и выбора всех необходимых интервалов, нажмите *Enter*.

Write your plans:

New points - p

Quit - anything — введите p , если хотите просмотреть другие точки на экране, либо

Enter для продолжения работы.

vychislaem velichinu stupeni v ed ACP

vedite 1 interval dlia nulej do stupeni — введите первый интервал для нулей до ступени.

vedite interval dlia vershiny stupeni — введите точки для вершины ступени.

vedite 2 interval dlia nulej posle stupeni — введите второй интервал для нулей после ступени.

vedite chislo toчек s nachala zapisi dlia iskliuchenija stupeni — введите число точек с начала записи для исключения ступени из дальнейшей обработки. Программа переходит в графический режим.

Write q for quit or anything to continue — нажмите *q* для выхода из графического режима или *Enter* для продолжения работы.

Write x_start and number points on the screen: — введите начальную точку для графика и число точек, которое будет отображаться на экране.

Write your plans:

New points - p

Quit - anything — введите *p*, если хотите просмотреть другие точки на экране, либо

Enter для продолжения работы.

vedite koeficient peredachi — введите коэффициент передачи для данного тау из таблицы.

vedite mnojitelj dlia stroki — введите поправку для данной строки из таблицы.

vedite velichinu stupeni v mA — введите величину ступени в миллиамперах, например, 30.

EFFEKTIVNAJA PLOSHCHAD

::: kvadratnyh metrov

Pause - Please enter a blank line (to continue) or a DOS command — на экране отображается значение эффективной площади в квадратных метрах. Нажмите *Enter*. Программа перейдет к обработке следующего источника за этот день, либо закончит работу, если записей источников за этот день больше нет.

Метод, предложенный Смирновым (случай самокалибровки источника). Программа называется *eff_area_method_2.exe*.

vedite chislo toчек v kontse zapisi dlia iskliuchenija ekvivalentov — если в конце вашей записи присутствует запись эквивалентов, ее необходимо отрезать. Введите число точек в конце массива для исключения эквивалентов из дальнейшей обработки.

sejchas Vy prosmotrite ishodnyj massiv

vyberite chislo toчек s nachala zapisi

dlia iskliuchenija stupeni

Pause - Please enter a blank line (to continue) or a DOS command — программа предупреждает, что при просмотре исходной записи Вам необходимо будет выбрать число точек с начала записи, включающее ступень, для ее исключения из дальнейшей обработки. В методике, предложенной Г.Т. Смирновым не предполагается запись ступени. Эта часть программы была написана для обработки записей со ступенью и возможно ее исключение из последующих версий программы. Нажмите *Enter*, программа переходит в графический режим.

Работа в графическом режиме, а также вычитание ступенек ШГ описано выше. Далее начинаем работать с эквивалентами.

sejchas Vy prosmotrite ishodnyj massiv vyberite intervaly dlia ekvivalentov — при просмотре графика выберите интервалы для вычисления средних значений эквивалентов.

Write x_start and number points on the screen: — введите начальную точку для графика и число точек, которое будет отображаться на экране.

vedite tochki dlia ekvivalenta antenny — введите точки начала и конца эквивалента 256 антенны (1-я ступенька в записи).

vedite tochki dlia ekvivalenta antenny +30db — введите точки начала и конца эквивалента

256 антенны + 30 децибел (2-я ступенька в записи).

podschet A eff

vedite shum-faktor — введите шум-фактор.

vedite T okr sredy (K) — введите температуру окружающей среды в Кельвинах.

Далее на экране отображается значение эффективной площади в квадратных метрах. При нажатии *Enter* программа перейдет к обработке следующего источника за этот день, либо закончит работу, если записей источников за этот день больше нет.

В двух оставшихся программах (*eff_area_method_1a.exe* и *eff_area_method_2a.exe*), вычисляющих эффективную площадь по классическому методу и по методу предложенному Г.Т. Смирновым, большая часть блоков с вопросами совпадает с тем, что описано выше. В то же время, в обеих программах есть блок, который посвящен вычислению цены деления по калибровочным источникам. Т.к. этот блок идентичен в обеих программах, то мы приводим его описание один раз.

Программа вычисления эффективной площади по методу, предложенному Г.Т. Смирновым с использованием калибровочных источников (*eff_area_method_2a.exe*)

vedite datu nabludenij dd,mm,yy — ввести дату наблюдений

obrabatyvaem kalibrovochye istochniki? 1-da — введите 1, если надо обработать калибровочные источники для получения файла с ценой деления. Если калибровочные источники уже обработаны, введите любую другую цифру для перехода к обработке основных источников.

Istochnik 4c14 4c39_45 3c338

Pause - Please enter a blank line (to continue) or a DOS command

vedite nazvanie istochnika, naprimer 4c01 — введите название источника в формате *4c01*. Это имя будет записано в выходной файл.

Следующая часть программы совпадает с ранними описаниями.

Esli nabl velisj po letnemu vremeni

vvedite 1, inache 0

1 interval dlia priamoj

2 interval dlia priamoj

hotite vybratj drugie točki? 1-da

vvedite chislo toček v kontse zapisi dlia iskliuchenija ekvivalentov

vvedite chislo toček s nachala zapisi dlia iskliuchenija stupeni

prodoljaem obrabotku? 1-da

Переход к обработке следующего калибровочного источника. Если таковых нет, программа автоматически переходит к обработке основных источников. Если Вы хотите проверить цены деления, то необходимо выйти из программы, войти в выходной файл "shkala" и оставить в нем нужные строки. Затем вновь запустить программу и на вопрос *obrabatyvaem kalibrovochye istochniki? 1-da* — ввести любую цифру, кроме 1. Программа перейдет к обработке основных источников.

III. Каталог дискретных источников

Основой каталога дискретных источников были выбраны сильные источники, имеющие склонения в пределах $-17^\circ < \delta < 68^\circ$, что позволяет оценивать эффективную площадь БСА на самых разнообразных склонениях. К сожалению, специальных работ по получению шкалы первичных и вторичных калибровочных источников на БСА после переводы антенны на частоту 111 МГц не проводилось. Поэтому плотности потоков источников на частоте 111 МГц оценивались по их спектрам, взятым из базы данных CATS <http://cats.sao.ru/>. Данные по источникам помещены в таблицу, представленную ниже. В первой колонке приведено название источника по 4С каталогу, во-второй — по 3С каталогу, в третьей колонке дан порядковый номер источника внутри каталога, в колонках 4-6 приведено прямое восхождение источника, а в колонках 7-9 — склонение источника. В колонке 10 — предполагаемая частота наблюдений, умноженная на 10. Например, 1115 означает, что при определении строк и задержек программа будет исходить из частоты наблюдений 111.5 МГц. Данный параметр может меняться, потому что в зависимости от частоты наблюдений (особенно на далеких

тау) могут заметно измениться строки на выходе из программы, готовящей паспорта наблюдений. В колонке 11 приведена частота опроса. По умолчанию предполагается, что частота опроса 10 Герц. Данный параметр может быть изменен. При этом программа пересчитает количество точек, которое должно быть в записи и внесет в паспорт наблюдений соответствующие изменения. В колонке 12 может стоять метка 1 или 0. Метка 0 означает, что источник используется в качестве калибровки. Программа приготовления паспорта сделает так, чтобы в строках управления БСА выставлялось одно и то же направление на небе для всех каналов, что позволит провести калибровку наблюдений. Внутри записи калибровочных источников не будет кусков с записью эквивалента. Поэтому такие записи более короткие по времени, чем записи источников по которым будет делаться оценка эффективной площади. Метка 1 означает, что запись будет такой длины, чтобы можно было прописать эквивалент антенны и сигнал от шумового генератора и, что в разных каналах будут выставлены разные строки (это необходимо для получения точных координат источника). Наконец, в колонке 13 дана плотность потока источника в Янских на частоте 111 МГц, умноженная на 10. Например, 225 означает 22.5 Ян.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4c00_01	3c2	0001	00	03	49	-00	-21	-07	1115	10	1	4	214
4c39_01	3c13	0002	00	31	33	39	07	12	1115	10	1	4	212
4c01_03	3c15	0003	00	34	31	-01	-25	-38	1115	10	1	4	301
4c51_02	3c20	0004	00	40	19	51	48	24	1115	10	1	4	577
4c50_04	3c22	0005	00	48	05	50	57	36	1115	10	1	4	190
4c13_07	3c33	0006	01	06	12	13	02	32	1115	10	1	4	826
4c45_03	3c36	0007	01	15	03	45	19	12	1115	10	1	4	143
4c20_07	3c47	0008	01	33	40	20	43	12	1115	10	0	4	427
4c43_06	3c54	0009	01	52	27	43	30	48	1115	10	1	4	150
4c28_05	3c55	0010	01	54	20	28	35	48	1115	10	0	4	297
4c02_10	3c63	0011	02	18	22	-02	-10	-34	1115	10	1	4	308
4c58_08	3c69	0012	02	34	18	58	59	18	1115	10	1	4	340
4c06_15	3c75	0013	02	55	03	05	49	29	1115	10	1	4	364
4c55_06	3c86	0014	03	23	30	55	09	48	1115	10	0	4	387
4c10_12	3c98	0015	03	56	11	10	17	12	1115	10	1	4	462
4c37_12	3c111	0016	04	15	01	37	54	19	1115	10	1	4	1090
4c41_13	3c119	0017	04	29	08	41	32	18	1115	10	0	4	156
4c29_14	3c123	0018	04	33	55	29	34	13	1115	10	1	4	2958
4c31_18	3c131	0019	04	50	11	31	24	42	1115	10	1	4	249
4c38_15	3c134	0020	05	01	18	38	02	05	1115	10	1	4	1225
4c16_12	3c138	0021	05	18	16	16	35	30	1115	10	0	4	281
4c49_14	3c147	0022	05	38	44	49	49	43	1115	10	1	4	610
4c05_23	3c161	0023	06	24	43	-05	-51	-12	1115	10	1	4	884
4c54_11	3c171	0024	06	51	10	54	14	06	1115	10	1	4	257
4c67_14	3c179	0025	07	23	05	67	54	53	1115	10	1	4	126
4c14_25	3c190	0026	07	58	46	14	23	24	1115	10	1	4	188
4c48_22	3c196	0027	08	09	59	48	22	08	1115	10	1	4	1034

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4c06_30	3c198	0028	08	19	52	06	06	46	1115	10	1	4	179
4c65_09	3c204	0029	08	33	18	65	24	04	1115	10	1	4	206
4c14_28	3c208	0030	08	50	23	14	04	00	1115	10	1	4	255
	3c218	0031	09	15	41	-11	-53	-05	1115	10	1	4	3356
4c14_32	3c225	0032	09	39	30	14	01	12	1115	10	0	4	264
4c29_35	3c234	0033	09	58	57	29	00	54	1115	10	1	4	430
4c58_21	3c244_1	0034	10	30	20	58	29	12	1115	10	0	4	320
4c25_34	3c250	0035	11	06	11	25	17	11	1115	10	1	4	192
4c35_25	3c252	0036	11	08	48	35	55	00	1115	10	1	4	202
4c19_40	3c264	0037	11	42	31	19	53	18	1115	10	1	4	232
4c06_44	3c270	0038	12	16	38	06	06	18	1115	10	1	4	233
4c02_32	3c273	0039	12	26	33	02	19	43	1115	10	1	4	1256
4c04_43	3c275	0040	12	39	45	-04	-29	-54	1115	10	1	4	217
4c39_39	3c288	0041	13	36	39	39	06	00	1115	10	0	4	264
4c52_30	3c295	0042	14	09	34	52	26	13	1115	10	1	4	1136
4c06_49	3c298	0043	14	16	39	06	43	00	1115	10	1	4	487
4c52_33	3c303	0044	14	41	24	52	12	48	1115	10	0	4	173
4c26_46	3c310	0045	15	02	49	26	12	30	1115	10	0	4	522
4c08_44	3c313	0046	15	08	33	08	02	30	1115	10	1	4	313
4c66_17	3c330	0047	16	09	16	66	04	28	1115	10	1	4	451
4c39_45	3c338	0048	16	26	55	39	39	18	1115	10	0	4	809
4c00_67	3c353	0049	17	17	53	-00	-55	-49	1115	10	1	4	3187
4c18_52	3c362	0050	17	44	55	18	22	11	1115	10	1	4	105
4c11_54	3c368	0051	18	02	46	11	00	06	1115	10	1	4	205
4c48_46	3c380	0052	18	28	14	48	42	41	1115	10	1	4	973
4c17_81	3c386	0053	18	36	12	17	09	18	1115	10	1	4	179
4c60_29	3c401	0054	19	39	39	60	34	31	1115	10	1	4	333

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4c23_53	3c409	0056	20	12	18	23	25	42	1115	10	1	4	1242
4c06_68	3c424	0057	20	45	44	06	49	30	1115	10	0	4	221
4c49_36	3c428	0058	21	06	43	49	23	54	1115	10	1	4	286
4c49_38	3c431	0059	21	17	10	49	24	06	1115	10	0	4	456
4c37_63	3c438	0060	21	53	46	37	46	00	1115	10	1	4	792
	3c444	0061	22	11	43	-17	-16	-31	1115	10	1	4	1079
	3c442	0062	22	12	20	13	35	28	1115	10	1	4	333
4c39_71	3c452	0063	22	43	32	39	25	12	1115	10	0	4	601
4c03_57	3c459	0064	23	14	02	03	48	55	1115	10	1	4	446
4c26_64	3c465	0065	23	36	02	26	40	06	1115	10	1	4	333

IV. Коэффициент передачи

Принцип измерения коэффициента передачи (K_p) описан, например, в отчете группы Г.Т. Смирнова, проводившей его измерения в 2003 году. Однако, при этих измерениях предполагалось, что K_p измеренный в одном направлении совпадает с K_p , измеренным с любого направления. Из общих соображений ясно, что это не так, однако не ясно насколько будут отличаться эти коэффициенты. Нами были проведены измерения коэффициента передачи по всевозможным направлениям на небе, а также с учетом возможного включения дополнительных петель севера и юга.

Поправки за строки существенно меньше и выражены в долях единицы по отношению к основной поправке K_p .

Строка 1, поправка 0.983; 2 – 1.015; 3 – 0.963; 4 – 1.007; 5 – 1.019; 6 – 1.028; 7 – 1.017; 8 – 0.954; 9 – 1.000; 10 – 1.021; 11 – 1.017; 12 – 1.037; 13 – 0.991; 14 – 1.087; 15 – 0.991; 16 – 1.081.

Поправку за штрих строки даем как отношение в долях единицы соответствующей строки. Она составляет 0.975.

τ	K_p	τ	K_p	τ	K_p	τ	K_p
+0	1069	+8	910	-0	941	-8	837
+1	965	+9	890	-1	865	-9	808
+2	972	+10	871	-2	844	-10	781
+3	893	+11	847	-3	784	-11	747
+4	1019	+12	903	-4	914	-12	821
+5	942	+13	875	-5	843	-13	786
+6	944	+14	869	-6	808	-14	791
+7	878	+15	816	-7	830	-15	724

Поправка за включение севера и юга дана в долях единицы по отношению к основной поправке K_p . Север: 0.421. Юг: 0.442.

Например, наши наблюдения были при $\tau = +6$ в строке 10.

Тогда: $K_p = 944 \times 1.021 = 964$.

Еще один пример. Наблюдения были при $\tau = -15$ в строке 13 штрих и при включении севера.

Тогда: $K_p = 724 \times 0.991 \times 0.975 \times 0.421 = 295$.