

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,  
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

УДК 53.087.44+621.391.812.632

**ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩЕГО ПРИЕМНИКА WINRADIO  
G305E В СОСТАВЕ РИОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
АНОМАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО  
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ**

© 2012 г. М. Е. Шкарбалюк, В. И. Косолапенко, А. Н. Васильев

*Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН*

*Россия, 184209, Апатиты Мурманской обл., ул. Академгородок, 26а*

*E-mail: chetaxa@gmail.com*

Поступила в редакцию 11.11.2011 г.

Приведено описание метода измерения поглощения ионосферой космического радишума и созданного на этой базе прибора — риометра. В приборе заложена идея записи мощности космического радиоизлучения на нескольких близких частотах из используемого диапазона. В качестве приемника в составе риометра использован промышленно выпускаемый радиоприемник Winradio, модель G305E. Методика измерений позволяет отстраиваться от узкополосных помех, тем самым повышая качество риометрических наблюдений. Прибор установлен в обсерватории “Ловозеро” Полярного геофизического института КНЦ РАН. Прибор отличается относительной простотой, высокой надежностью и низкими требованиями к обслуживанию.

**ВВЕДЕНИЕ**

Радишумы внеземного происхождения постоянно попадают на верхнюю границу ионосферы в широком диапазоне частот. Мощность этих радишумов не зависит от времени. Вариации мощности галактического радиоизлучения, наблюдаемые на земной поверхности, в основном определяются изменением поглощения в нижней ионосфере Земли [1].

Для изучения поглощения применяются специальные радиоприемники для непрерывного измерения уровня поглощения космического радишума в слое D ионосферы Земли, называемые риометрами. Риометр работает в диапазоне 15–50 МГц (часто используемая частота 32 МГц). Принцип его работы основан на сравнении излучения, принимаемого антенной, с излучением шумового диода.

При проведении риометрических наблюдений при отсутствии заметного поглощения в ионосфере уровень мощности космического радишума принимается (для каждого звездного времени в точке измерения) в качестве отсчета, с которым сравнивается измеряемая величина радишума и оценивается вклад ионосферы в поглощение.

Измерение поглощения космического радиоизлучения имеет большую ценность для изучения событий, происходящих во время солнечных вспышек и геомагнитных возмущений [1]. К примеру, риометрические данные позволяют определить профили электронной концентрации в нижней ионосфере по поглощению на ряде частот [2], а также изучать авроральное поглощение косми-

ческого радиоизлучения [3], связь между коротковолновыми пульсациями и риометрическим поглощением в ионосфере [4].

Поглощение в ионизированной среде связано с передачей энергии от волны к электронам и потерей энергии при столкновении электронов с нейтральными частицами. Потери энергии, следовательно, зависят от плотности электронов и числа их столкновений с другими частицами (в основном, нейтральными). На больших высотах ( $h \geq 100$  км) очень высока плотность заряженных частиц  $N \sim 10^5 \text{ см}^{-3}$ , на малых высотах ( $h \leq 70$  км) концентрация электронов является слишком низкой ( $N \sim 10 \text{ см}^{-3}$ ), зато высока частота соударений  $f \geq 10^7$ , поэтому между этими крайностями существует область, где потери энергии волны (при взаимодействии электронов с падающей волной и нейтральными частицами) максимальны ( $70 \leq h \leq 100$  км,  $N \sim 10^2 - 10^3 \text{ см}^{-3}$ ) [5].

Риометр состоит из антенны, шумового генератора, радиоприемника и регистратора. Коэффициент усиления приемника, входящего в состав риометра, является одной из важнейших характеристик при разработке и изготовлении риометра, и при ее непостоянстве нельзя будет судить о вариациях поглощения. Постоянство фиксированного коэффициента усиления приемника в составе риометра обычно контролируется с помощью периодически подаваемого на вход приемника напряжения от шумового генератора, обладающего неизменным уровнем шумов на выходе [6]. К примеру, компания LaJolaScience производит и



Рис. 1. Блок-схема риометра.

продает риометры, построенные на данном принципе [7]. К сожалению, они не имеют возможности работать в режиме сканирования диапазона частот, в результате чего приходится постоянно проводить контроль записываемых данных на наличие помех.

В настоящее время с увеличением количества переносной радиоаппаратуры гражданского применения, работающей в риометрическом диапазоне, увеличилось количество помех, мешающих проводить измерение поглощения космического радиоизлучения на фиксированных частотах этого диапазона. Требуется постоянный контроль оператора за уровнем входного сигнала и при возникновении помех – перестройка риометра на другую частоту. На устаревших моделях риометров, например, РП-1-32, РП-1-40 была лишь ручная перестройка частоты.

Таким образом, возникла необходимость в разработке и создании прибора, который мог бы самостоятельно, без участия оператора вести запись измеренной мощности космического радиошума и отстраиваться от помех. Одним из вариантов решения этой задачи может быть одновременная регистрация радиошума на нескольких близких частотах с последующим выделением канала без помех.

### ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

В качестве приемника в составе риометра нами был использован промышленно выпускаемый сканирующий, высокостабильный по температуре, супергетеродинный радиоприемник G305E производства компании Winradio [8]. Основные причины, повлиявшие на наш выбор, таковы:

1) данный радиоприемник имеет возможность работать в режиме сканирования и позволяет проводить регистрацию аномального поглощения космического радиоизлучения на различных частотах;

2) так как запись сигнала ведется сразу на нескольких частотах, то нет необходимости в постоянном контроле и отстройке приемника от возникшей помехи;

3) имеется возможность настройки приемника для измерения поглощения космического излу-

чения на различных частотах от 10 до 100 МГц, используя соответствующую антенну, предусилитель и антенный переключатель.

Данный радиоприемник позволяет проводить сканирование радиодиапазона частот от 9 кГц до 1.8 ГГц (предельные частоты сканирования) с шагом перестройки частоты 1 Гц. Чувствительность приемника порядка 1 мкВ, входное сопротивление – 50 Ом.

Диапазон значений мощности космического радиошума порядка  $3-40kT_0$  (где  $k$  – постоянная Больцмана,  $T_0 = 293$  К) [6]. У приемника Winradio, к сожалению, приведенный ко входу собственный шум больше, чем измеряемые естественные шумы, поэтому потребовалось разработать предварительный усилитель с минимальным уровнем шумов.

Таким образом, полоса частот, используемых при измерениях, и минимальный уровень мощности шумов будут определяться предусилителем. В нашем приборе уровень мощности собственных шумов предусилителя составил около  $3kT_0$ , полоса частот выбрана 31–33 МГц.

На рис. 1 представлены основные функциональные блоки риометра: предварительный усилитель с калибратором, приемник Winradio G305E и компьютер для сбора данных.

Предварительный усилитель выполнен по классической двухтактной резонансной схеме с трансформаторным входом и выходом на малошумящих  $p-n-p$ -транзисторах.

Принципиальная схема предварительного усилителя приведена на рис. 2.

Предварительный усилитель выполнен на транзисторах  $T_1$  и  $T_2$ , выходной резонансный контур – на элементах  $Tp2, C_1, C_2$ , а на транзисторах  $T_3$  и  $T_4$  – составной эмиттерный повторитель для согласования выходного сопротивления предусилителя и входного сопротивления приемника Winradio. Входное сопротивление предварительного усилителя 75 Ом, выходное – 50 Ом, коэффициент усиления ~100 на частоте 32 МГц.

Амплитудно-частотная характеристика системы, состоящей из предусилителя и приемника, получена следующим образом: на вход предусилителя был подан широкополосный шумовой сигнал

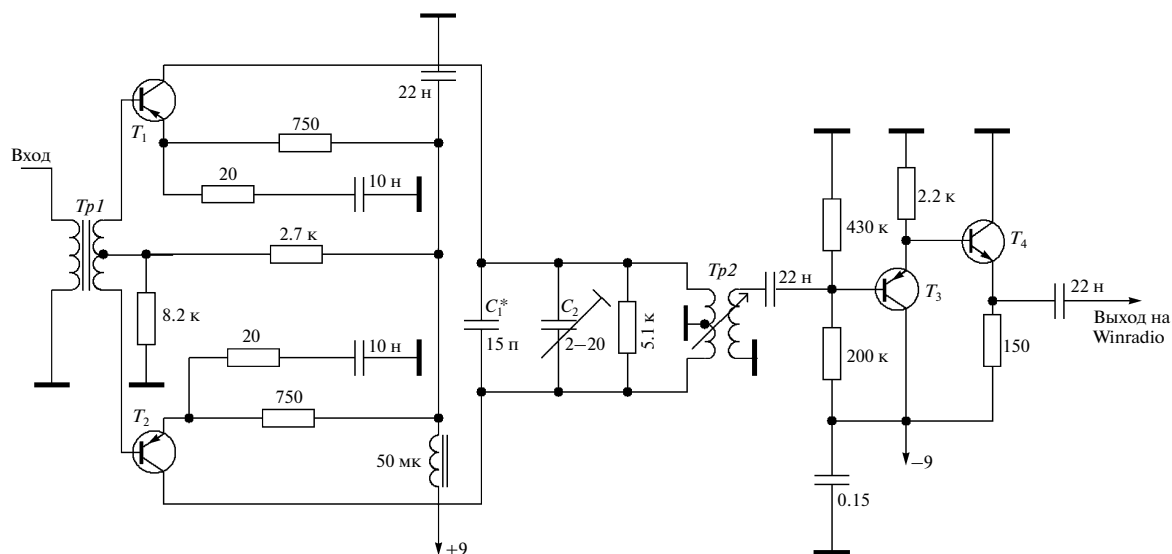


Рис. 2. Принципиальная схема предварительного усилителя.  $T_1$ – $T_3$  – КТ3127А,  $T_4$  – КТ610А.

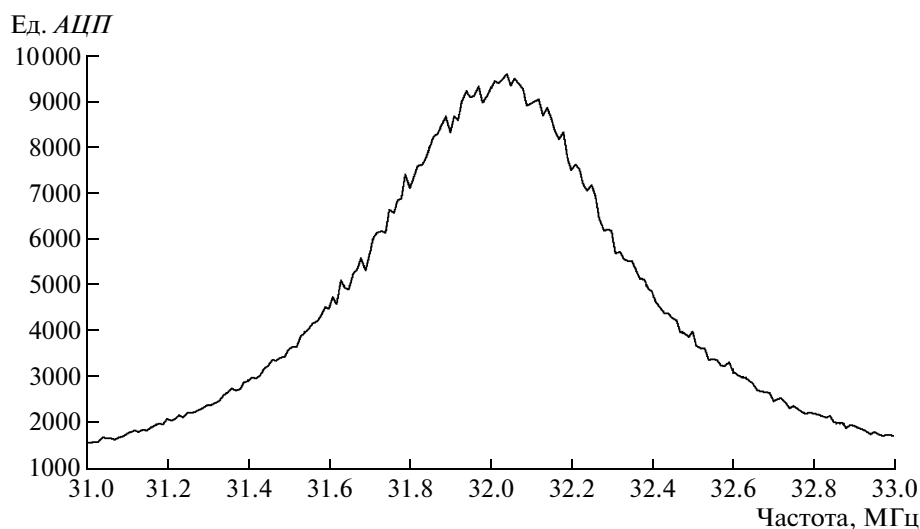


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика системы.

при сканировании приемником диапазона частот 31–33 МГц с шагом 20 кГц. Полученная характеристика (в единицах аналого-цифрового преобразователя АЦП) приведена на рис. 3. Из этого рисунка видно, что максимальное значение коэффициента усиления принимает в пределах полосы частот 31.8–32.2 МГц.

Принцип работы устройства следующий. Сигнал с антенны поступает на вход предусилителя, затем на вход приемника Winradio G305E. При измерениях радиоприемник проводит сканирование диапазона частот 31.8–32.2 МГц с шагом перестройки частоты 20 кГц. После оцифровки встроенным АЦП приемника отсчеты напряжения второй промежуточной частоты для каждой

частоты из сканируемого диапазона после обработки синхронизируются с временем и сохраняются в компьютере. Затем этап сканирования повторяется.

Встроенный аналого-цифровой преобразователь приемника Winradio имеет частоту дискретизации 64 кГц. Регулируя количество полученных отсчетов для каждой конкретной частоты из диапазона, можно регулировать время сканирования всего диапазона. Опираясь на результаты экспериментов, в нашем случае мы используем 10000 отсчетов для усреднения, так как такое количество является оптимальным, не требует много времени для сканирования диапазона и достаточ-

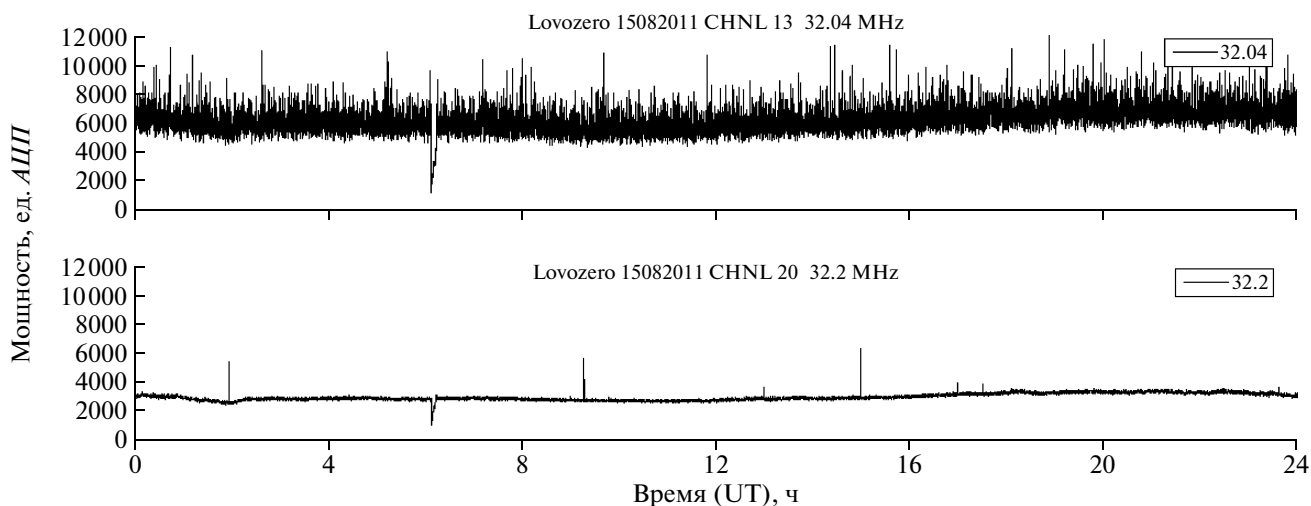


Рис. 4. Образец суточной записи риометра на двух частотах 15.08.2011.

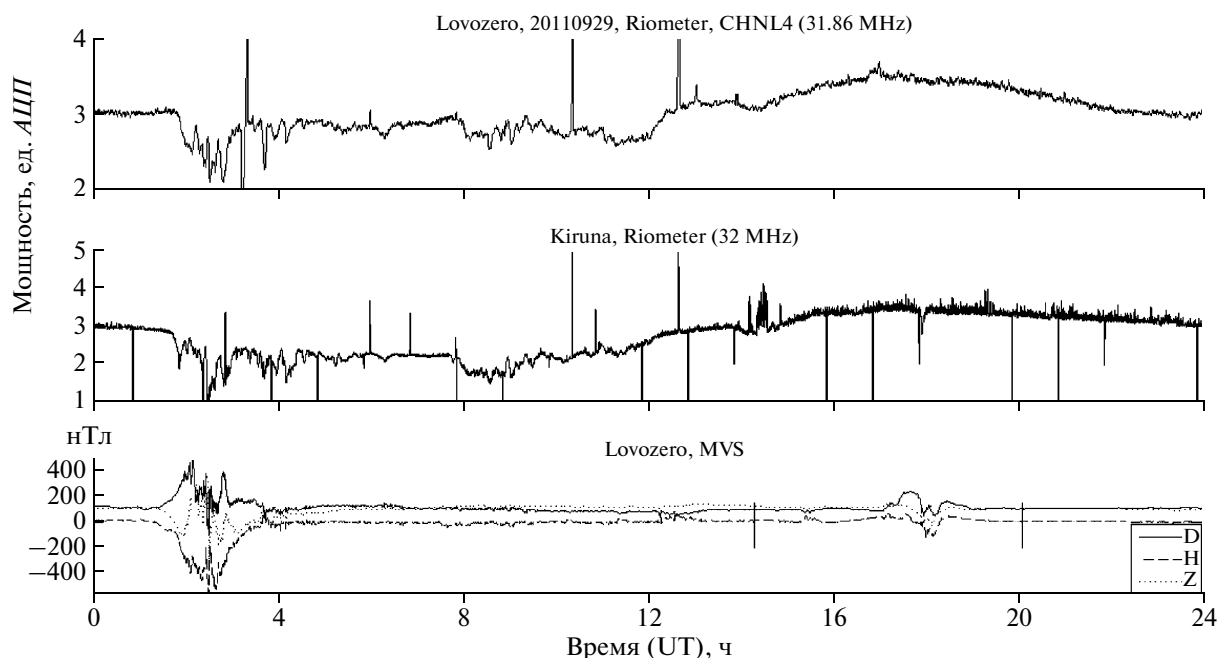


Рис. 5. Риометрические данные обсерваторий “Кируна” и “Ловозеро” и данные магнитовариационной станции (MVS). D, H и Z – компоненты магнитного поля: склонение, горизонтальная и вертикальная соответственно.

но для дальнейшего усреднения и получения объективной информации о мощности сигнала.

Обработка оцифрованных отсчетов промежуточной частоты заключается в усреднении и расчете средней мощности сигнала для каждой из частот сканируемого диапазона. Время сканирования для одной частоты ~200 мс, весь диапазон в двадцать частот сканируется 4–5 с.

Результатом работы прибора являются суточные файлы, содержащие значение мощности для каждой из избранных частот сканируемого диапазона и время сканирования. Имеется возмож-

ность регистрировать поглощение космического радишума в различные периоды времени на любой из частот сканируемого диапазона. Результирующая вариация поглощения строится на основе обработки этих файлов после учета амплитудно-частотной характеристики.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ВЫВОДЫ

Прибор был запущен 15 июля 2011 г. и показал полную работоспособность. Ниже приведены примеры записей риометра. На рис. 4 показана

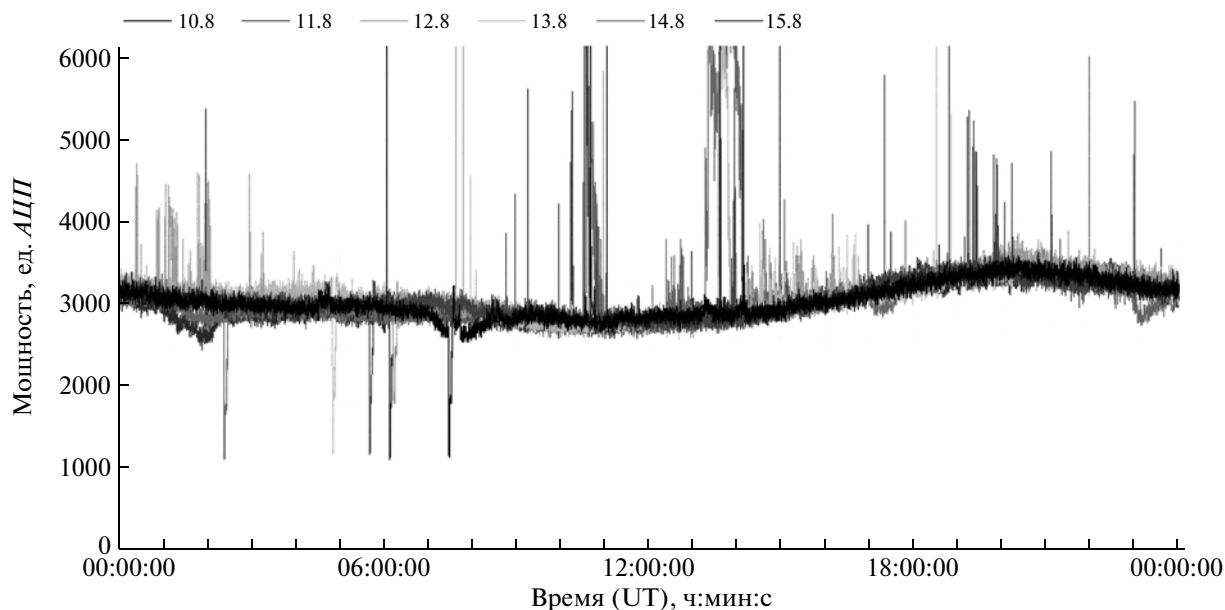


Рис. 6. Суточные вариации космического радишума с 10 по 15 августа 2011.

суточная вариация мощности космического радиоизлучения в обсерватории “Ловозеро” Полярного геофизического института 15 августа 2011 года — представлены каналы № 13 и № 20, частоты соответственно 32.04 и 32.2 МГц.

На рис. 4 видно, что уровень мощности на частоте 32.04 МГц значительно превышает уровень мощности сигнала на частоте 32.2 МГц, а также имеет высокочастотную шумовую составляющую, что указывает на наличие узкополосной постоянной помехи на частоте 32.04 МГц. Данный метод измерений позволяет избавиться от негативного влияния узкополосных помех на результаты.

Обсерватория “Ловозеро” имеет географические координаты  $\varphi = 67^{\circ}58' N$ ,  $\lambda = 35^{\circ}03' E$ , поэтому данные, полученные в этой обсерватории, можно сравнить с данными обсерваторий, расположенных на той же широте — “Соданкюля”, “Оулу” или “Рованиеми”.

На частоте 31.86 МГц (“Ловозеро”) и 32 МГц (“Кируна”) хорошо различимы вариации уровня мощности космического радишума, которые также были зарегистрированы на сети риометрических станций, находящихся на территории скандинавских стран. Данные с риометрических станций, скопированные из Интернета [9], и данные с магнитовариационной станции (MVS) обсерватории “Ловозеро”, приведены на рис. 5, где зарегистрированы бухты поглощения во время отрицательных магнитных бурх между 1.30 и 3.30 по UT (Всемирному времени).

Для проверки работоспособности данной схемы измерений был построен график измеренного космического радишума на частоте 32.2 МГц за

шесть дней с 10 по 15 августа 2011 года. Наложённые друг на друга шесть кривых показаны на рис. 6, где видно, что суточные вариации мощности космического радишума повторяются день ото дня, указывая на работоспособность и стабильность использованной схемы измерений. Заметные бухты поглощения космического радишума были зафиксированы 10, 14 и 15 августа 2011 года.

Использованная схема риометра с отстройкой от помехи по частоте показала практическую применимость и хорошую работоспособность.

Авторы статьи благодарны С.П. Носкову и А.А. Галкину за помощь.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rawer K.* Manual on ionospheric absorption measurements. World Data Center A-for Solar-Terrestrial Physics. NOAA, Boulder, Colorado. Report UAG 57. 1976.
2. *Петрова Г.А., Брюнелли Б.Е.* // Морфология и физика полярной ионосферы. Л.: Наука, 1971. С. 108.
3. *Осепян А.П., Ролдугин В.К.* // Морфология и физика полярной ионосферы. Л.: Наука, 1971. С. 124.
4. *Ролдугин В.К.* // Геомагнетизм и аэрономия. 1967. Т. 7. № 3. С. 559.
5. *Friedrich M., Harrich M., Torkar K.M., Stauning P.* // J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2002. V. 64. № 3. P. 359.
6. *Дриацкий В.М.* Природа аномального поглощения космического радиоизлучения в нижней ионосфере высоких широт. Л.: Гидрометеиздат, 1974.
7. <http://lajollasciences.com/price.html>
8. <http://winradio.com/home/g305e.htm>
9. <http://sgo.fi/Data/Riometer/rioData.php>