

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.176-179

## ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТЕ 30 МГц В ОБСЕРВАТОРИИ «ЛОВОЗЕРО»

В.И. Косолапенко<sup>1</sup>, А.А. Галкин<sup>1</sup>, С.А. Иванов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

<sup>2</sup>Гидрометеорологическая станция «Ловозеро»

**Аннотация.** Дано краткое описание риометра (антенны и приемной аппаратуры), предназначенного для измерения поглощения космического радиошума на частоте 30 МГц, установленного в геофизической обсерватории «Ловозеро» ПГИ (67.97N, 35.01E). Предложен оригинальный метод определения суточного хода уровня космического радиошума для так называемых «спокойных дней» (дни с отсутствием помех и значительного поглощения). На основании этого метода реализована компьютерная программа для вычисления уровня поглощения космического излучения.

### Введение

Радиошумы внеземного происхождения в широком диапазоне частот попадают на верхнюю границу ионосферы Земли. Вариации мощности космического радиошума, наблюдаемые на земной поверхности, в основном определяются изменением поглощения в слое D ионосферы Земли. При изучении поглощения применяются специальные радиоприемники для непрерывного измерения мощности космического радиошума, называемые риометрами. Сигнал на выходе риометра зависит от частоты, диаграммы направленности приемной антенны и области небесной сферы на которую она направлена. Принцип работы риометра основан на сравнении излучения, принимаемого антенной, с излучением шумового диода. Риометр был изобретен американскими геофизиками Лейнбахом и Чиверсом в пятидесятые годы и используется на десятках станций, преимущественно в высоких широтах. Риометры обычно работают в диапазоне 15–50 МГц (наиболее часто используемая частота 30 МГц).

При проведении риометрических наблюдений, уровень мощности космического радиошума в дни с отсутствием помех и значительного риометрического поглощения (т.н. «спокойные дни»), принимается (для каждого звездного времени в точке измерения) в качестве отсчета, с которым сравнивается измеряемая величина радиошума и оценивается вклад ионосферы в поглощение. В данной работе предлагается новый, на наш взгляд, подход к определению фонового уровня космического радиошума основанный на аппроксимации суточной зависимости уровня мощности для спокойного дня синусоидальной функцией.

### Аппаратура

Риометр, используемый в обсерватории Ловозеро, изготовлен компанией La Jolla Sciences, California. Блок-схему и технические характеристики риометра можно посмотреть по ссылке [1]. В качестве приемной антенны была применена антенна типа двойной диполь. Диаграммы направленности такой антенны в E и H-плоскостях одинаковы и равны 60°. Подробное описание и чертежи антенны можно найти в [2].

### Первичная обработка данных

Исходные данные риометра в обсерватории Ловозеро представляю собой суточные зависимости мощности космического радиошума. Эти зависимости могут содержать в себе результаты воздействия различных факторов как естественного (суточные вариации фонового излучения, поглощение) так и антропогенного (радиопомехи, неисправности приемной аппаратуры) происхождения.

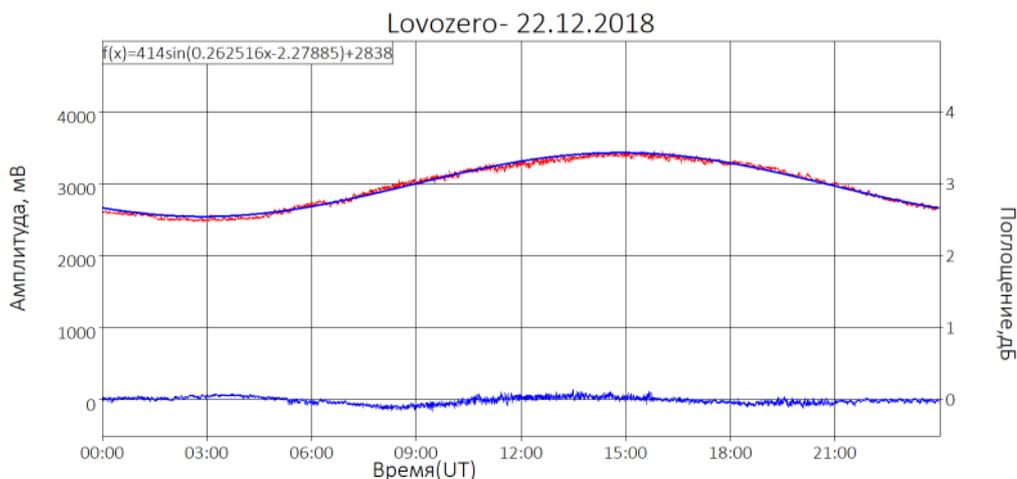
Поскольку помехи, наблюдаемые в значительной части данных, являются мешающим фактором для анализа данных в программу обработки данных была введена процедура фильтрации. В настоящее время используется фильтр скользящего среднего по 300-м значениям.

### Суточный ход

Очевидно, что если антенна риометра направлена в зенит, то область небесной сферы, на которую она направлена, в течение суток меняется из-за вращения Земли вокруг своей оси. Сидерический день - промежуток времени, в течение которого Земля совершает один полный оборот вокруг своей оси. Он равен 23 часам 56 минутам 4,09054 секундам. Угловая скорость вращения  $\Omega = 0.262516$  рад/час. В результате формируется суточный ход мощности космического радиошума. В течение года его вид будет меняться из-за обращения Земли вокруг Солнца. Сидерический год- промежуток времени, в течение которого Земля

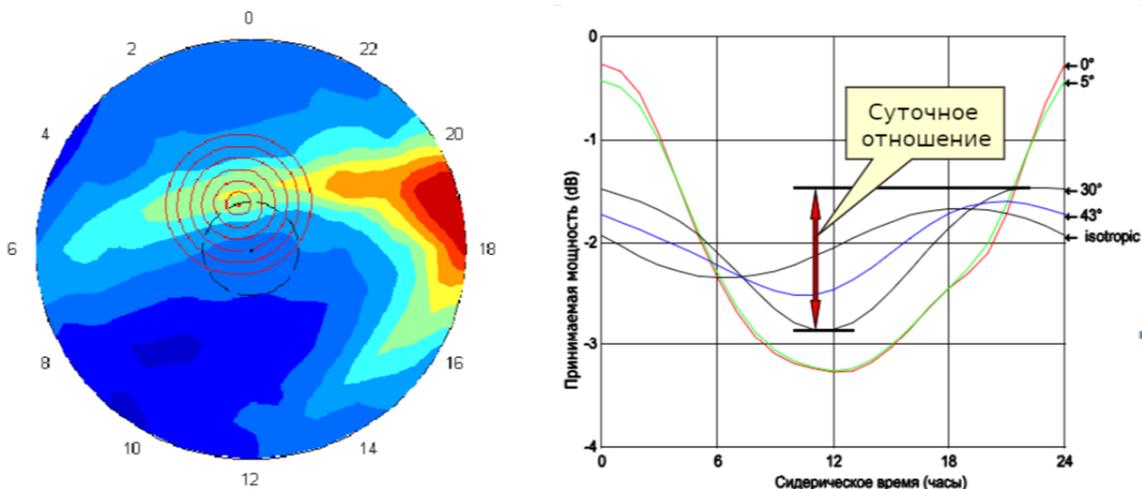
совершает вокруг Солнца полный оборот относительно звёзд. Для полного оборота по орбите на  $2\pi$  Земле требуется около 365.2564 суток. Угловая скорость вращения  $\omega=0.01720$ рад/сутки.

Первичный просмотр данных показал, что суточный ход регистрируемой мощности космического радишума в обсерватории Ловозеро (68.01N, 35.01E) в спокойные дни имеет ярко выраженный синусоидальный характер рис. 1.



**Рисунок 1.** Суточный ход регистрируемой мощности космического радишума и поглощения в обсерватории Ловозеро в спокойный день 22.12.2018.

Здесь уместно привести сравнение с расчетной оценкой относительного суточного изменения принимаемой мощности космического радишума. На рис. 2, взятом из работы [3], слева показана температура шума неба, измеренная на частоте 30 МГц в горизонтальной топоцентрической системе координат с центром на северном полюсе [4], справа - расчетная принимаемая мощность на  $70^\circ$  с.ш. для антенн с различными углами раскрытия. Видно, что для антенны с углом раскрытия  $30^\circ$  расчетная принимаемая мощность для сидерического дня имеет такой же характер, как и экспериментальные данные. При этом суточное отношение практически одинаково (1.38 расчет и 1.34 эксперимент).



**Синий круг** — суточное движение приемной антенны размещенной на  $70^\circ$ N  
**Красные круги** представляют антенны с углами раскрытия от  $\pm 5$  до  $\pm 30^\circ$

**Принимаемая мощность на  $70^\circ$ N** в течении сидерического дня для различных углов раскрытия антенны

**Рисунок 2.** Слева - температура шума неба, измеренная на частоте 30 МГц [4], справа - расчетная принимаемая мощность на  $70^\circ$  с.ш. для антенн с различными углами раскрытия [3].

Было решено аппроксимировать суточную зависимость функцией

$$P_i = P_0 \cdot \sin(\Omega \cdot t_i + \phi_0) + P_{cp} \quad (1)$$

Здесь:  $P_i$  -регистрируемая мощность космического радишума;

$P_0$  -амплитуда суточных вариаций мощности космического радишума;

$\Omega$  -угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси ( $\Omega = 0.262516$ рад/час);

$t_i$  -текущее время;

$\phi_0$  -угол, определяющий положение Земли относительно Солнца (меняется в зависимости от дня года);

$P_{cp}$  -средний за сутки уровень мощности космического радишума;

Для анализа поведения амплитуды и начальной фазы аппроксимирующей функции за длительный период времени был организован каталог спокойных дней. Для каждого из спокойных дней определялись величины  $P_0, \phi_0, P_{cp}$ .

Анализ экспериментальных данных за период декабрь 2017 по сентябрь 2018 показал, что фаза меняется линейно и скорость ее изменения примерно равна 0.0172 рад, что соответствует угловой скорости вращения Земли вокруг Солнца. Линейная аппроксимация зависимости  $\phi_0$  позволяет убрать из уравнения (1) неизвестное значение  $\phi_0$ , заменяя ее значением, определенным из графика.

### Вычисление поглощения

Конечным этапом процедуры обработки данных риометра является вычисление суточной зависимости поглощения. Поглощение вычисляется по формуле

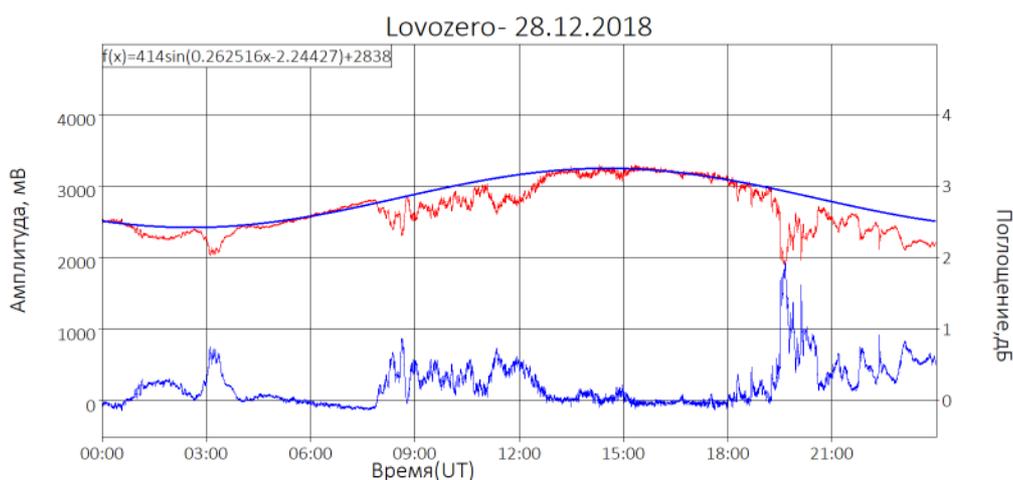
$$A_i(dB) = 10 \log \frac{(P_i - c_0)}{(P_{0i} - c_0)}$$

Здесь:  $P_i$  -регистрируемая мощность космического радишума;

$P_{0i}$  -фоновая мощность космического радишума;

$c_0$  -нулевой уровень калибровки (собственные шумы приемника).

Фоновая мощность может быть вычислена непосредственно из анализируемой суточной зависимости, когда на суточной зависимости есть спокойный участок (минимум 4 часа). Тогда для вычисления поглощения достаточно знания нулевого уровня калибровки. Начальная фаза суточных вариаций  $\phi_0$  при этом определяется из графика линейной аппроксимации зависимости  $\phi_0$  для спокойных дней. Когда на суточной зависимости невозможно найти спокойного участка необходимо взять амплитуды  $P_0$  и  $P_{cp}$  из ближайшего спокойного дня и с учетом калибровки определить фоновую суточную зависимость для данного дня. Такой случай для 28.12.2018 показан на рис. 3. В левом верхнем углу рисунка приведена аппроксимирующая функция за спокойный день 22.12.2018. Нижняя кривая синего цвета показывает суточный ход поглощения.



**Рисунок 3.** Суточный ход регистрируемой мощности космического радишума и поглощения в обсерватории Ловозеро 28.12.2018.

### Заключение

Существует значительное количество методов определения суточного хода уровня космического радишума для так называемых «спокойных дней» [5-7]. Практически все они основаны на сложных вычислениях с использованием больших массивов данных (от нескольких десятков дней до года и больше). Предлагаемый

нами метод отличается своей простотой и легкостью реализации, при этом в большинстве случаев дает хорошие результаты.

### **Литература**

1. <http://www.lajollasciences.com>
2. Mohammed A. Mohammed, Kamal M. Abood, Amjad A. Alsawad: Setup and Operation of New Radio Jove Telescope 20.1 MHz at Baghdad University Location, Iraqi Journal of Science, Special Issue, Part B, pp. 441-452, 2016
3. Friedrich M.: All you should know about riometers, 2nd HEPPA Conference, Boulder, October 6th, 2009
4. Cane H.V.: A 30 MHz map of the whole sky, Aust.J. Phys., 31, pp. 561-565, 1978
5. Krishnaswamy S., Detrick D.L., and Rosenberg T.J.: The Inflection Point Method of Determining Riometer Quiet Day Curves, Radio Sci., Vol. 20, No. 1, pp. 123-136, 1985
6. Moro J., Denardini C.M., Correia E., Abdu M.A., Schuch N.J., and Makita K.: A comparison of two different techniques for deriving the quiet day curve from SARINET riometer data, Ann. Geophys., 30, pp. 1159-1168, 2012
7. Harrich M., Friedrich M., Marple S.R., and Torkar K.M.: The background absorption at high latitudes Radio Science, 1, pp. 325-327, 2003