

АНАЛИЗ ДАННЫХ РИОМЕТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ИКФИА СО РАН ЗА 2003-2015 ГГ.

И.А. Константинова¹, А.Ю. Гололобов^{1,2}

¹Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия,

KonstantinovaA@ikfia.ysn.ru

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

ANALYSIS OF DATA FROM RIOMETRIC STATIONS OF SHICRA SB RAS FOR 2003-2015

I.A. Konstantinova¹, A.Yu. Gololobov^{1,2}

¹The Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia,

KonstantinovaA@ikfia.ysn.ru

²The M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

Аннотация. В данной работе рассматривается архив риометрических данных ИКФИА СО РАН с 2003 по 2015 гг., который содержит измерения со следующих станций: о. Котельный (76°N, 139,9°E), Тикси (71,6°N, 129°E), Джарджан (69°N, 124,2°E), Кыстатыам (67,2°N, 123,2°E), Маймага (63°N, 129,4°E) и Ойбенкель (61,9°N, 129,4°E). Была выполнена задача упорядочить файлы наблюдения по годам и станциям. Процедура визуализации файлов месячного хода поглощения космического радишума включала в себя расстановку станций по убыванию географической широты и фильтрацию отсутствующих значений. Сопоставление вариаций индекса Dst с графиками, отображающими ярко выраженное повышение поглощения, показывает, что риометрические данные соответствуют условиям развития геомагнитных бурь. Особенно хорошо эта связь прослеживается в данных высокоширотных станций – Котельном и Тикси.

Ключевые слова: высокоширотная ионосфера, авроральная и субавроральная ионосфера, риометрические наблюдения, поглощение космического радишума, геомагнитная буря.

Abstract. This paper examines the archive of riometric data of SHICRA SB RAS from 2003 to 2015, which contains measurements from the following stations: Kotelnny Island (76°N, 139.9°E), Tiksi (71.6°N, 129°E), Dzhardzhan (69°N, 124.2°E), Kystatyam (67.2°N, 123.2°E), Maymaga (63°N, 129.4°E) and Oybenkyol (61.9°N, 129.4°E). The task to organize the observation files by year and station was completed. The procedure for visualizing files of the monthly cosmic radio noise absorption rate included arranging stations in descending latitude and filtering out missing values. Comparison of the variations in the Dst index with the graphs showing a pronounced increase in absorption shows that the riometric data correspond to the conditions of geomagnetic storms development. This connection is particularly well traced in the data of high-latitude stations – Kotelnny and Tiksi.

Keywords: high-latitude ionosphere, auroral and subauroral ionosphere, riometric observations, cosmic noise absorption, geomagnetic storm.

ВВЕДЕНИЕ

Риометрические наблюдения позволяют регистрировать поглощение космического шума (Cosmic Noise Absorption, CNA), и связаны с ослаблением радиоволн, проходящих через ионосферу Земли. Данные риометров коррелирует с уровнем геомагнитной активности, который измеряется такими индексами, как K_p (Planetary K-index) и Dst (Disturbance Storm Time Index), поэтому CNA является важным индикатором состояния космической погоды.

Риометры (Relative Ionospheric Opacity Meter) непрерывно регистрируют интенсивность космического радиоизлучения, источниками которого являются звезды, галактики и реликтовое излучение [Харгривс, 1982]. Авроральное поглощение обычно вызвано высыпаниями энергичных электронов с магнитосферы во время геомагнитных возмущений. Столкновения высокоэнергичных электронов с нейтральными частицами атмосферы вызывают повышение электронной плотности в нижних слоях ионосферы [Hargreaves, 1969]. При указанных условиях в D-регионе (70-100 км) происходит поглощение

радиоволн от космических источников, следовательно, интенсивность наблюдаемого с помощью риометра сигнала снижается.

Комплекс по исследованию CNA Якутской меридиональной цепочки с 2003 по 2015 гг. состоял из пяти риометрических станций [<https://ikfia.ysn.ru/riometr>]. Также, в период с 2004 по 2006 гг. риометрические измерения проводились в радиофизическом полигоне «Ойбенкель». Все станции были оснащены риометрической установкой Р-32, принцип работы которой основан на сравнении излучения шумового диода с космическим радишумом на частоте 32 МГц. Излучение космического радишума принималось антенной типа «волновой канал». Географические и исправленные геомагнитные координаты станций приведены в табл. 1.

Архив риометрических данных ИКФИА СО РАН состоит из двух типов текстовых файлов: исходные показания риометров, представляющие из себя амплитуды мощности космического радишума и имеющие расширение (.DAT), и вычисленные из них зависимости поглощения (_dBm). Чтобы получить значения поглощения из

экспериментальных данных, требуется вычислить фоновую мощность из спокойных участков и знать нулевой уровень калибровки приемника [Косолапенко и др., 2019]. Файлы амплитуд мощности записывались каждую секунду в течение суток, значения измеряются в мВ. Обработанные данные содержат месячный ход поглощения с шагом в одну минуту, которое измеряется в дБ. Программы для визуализации данных файлов наблюдения были разработаны с помощью библиотеки Matplotlib на языке программирования Python. Всего было получено 16322 изображения из файлов с расширением (.DAT) и 522 изображения, описывающих месячные зависимости поглощения.

Таблица 1. Расположение станций

№	Название	Географические координаты		Исправленные геомагнитные	
		Широта	Долгота	Широта	Долгота
1	О. Котельный	76	139,9	70,5	203,5
2	Тикси	71,6	129	66,1	197,8
3	Джарджан	69	124,2	63,6	194,7
4	Кыстатыам	67,2	123,2	61,8	194,3
5	Маймага	63	129,4	57,4	201,3
6	Ойбенкель	61,9	129,4	56,3	201,3

Следует отметить, что значительная часть файлов архива подверглась воздействию инструментального фактора. В полученных графиках нередко наблюдаются зашумления, искажения, а периоды отсутствия данных проявляются как отрезки непрерывных, повторяющихся значений мощности или поглощения. Для удобства подобные значения были отфильтрованы.

Данное исследование носит обзорный характер и направлено на оценку эффективности работы

риометрических станций ИКФИА СО РАН в период с 2003 по 2015 гг.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящей работе рассматриваются данные с марта 2003 г. по январь 2015 г., что соответствует 23-му и 24-му циклам солнечной активности [https://www.spaceweatherlive.com/ru/solnechnaya-aktivnost/solnechnyy-cikl/istoriya-solnechnyh-ciklov.html]. Хотя в целом изучаемый период характеризуется умеренной геомагнитной активностью, из наиболее мощных по интенсивности геомагнитных бурь можно выделить события 30 октября 2003 с индексом Dst, достигшим минимального значения -383 нТл, и 8 ноября 2004 с минимальным значением -374 нТл.

Для того, чтобы отследить динамику изменения поглощения, на рис. 1 приведено совместное отображение данных нескольких станций, где станции были расставлены начиная с самой высокоширотной, и далее – по убыванию географической широты (табл. 2). Полученные графики сопоставлялись с вариациями индекса Dst для приведенных периодов. Данные высокоширотных станций показывают всплески поглощения до 8-9 дБ, примерно соответствующие моменту развития геомагнитного возмущения.

Таблица 2. Аббревиатуры станций

№	Название	Аббревиатура
1	О. Котельный	KTN
2	Тикси	TIX
3	Джарджан	DZD
4	Кыстатыам	KYS
5	Маймага	MMG
6	Ойбенкель	OIB

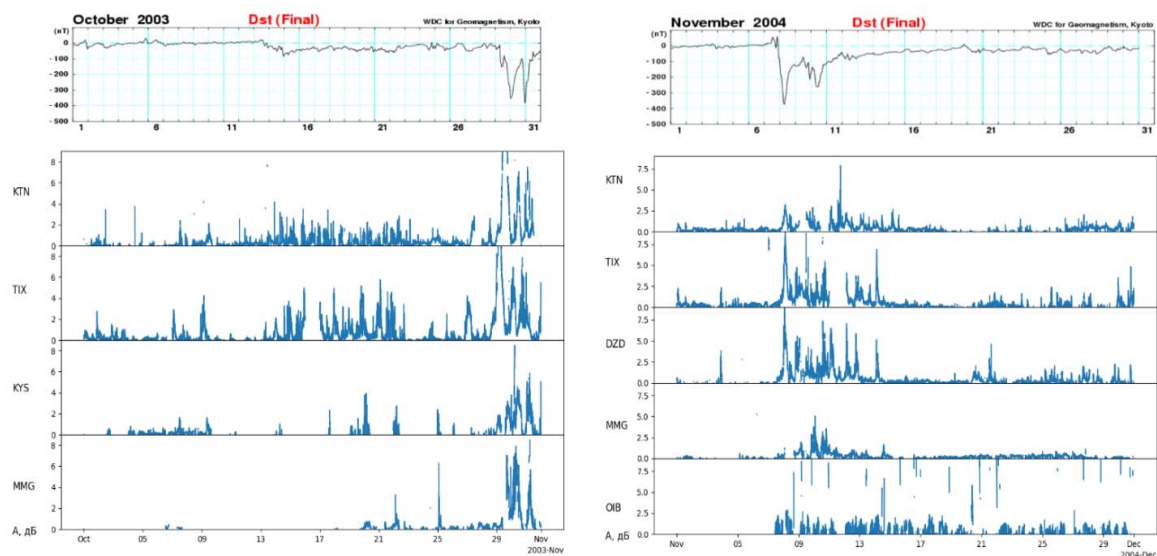


Рис. 1. Месячные ходы поглощения космического радиопотока в дБ и вариации индекса Dst в октябре 2003 и ноябре 2004

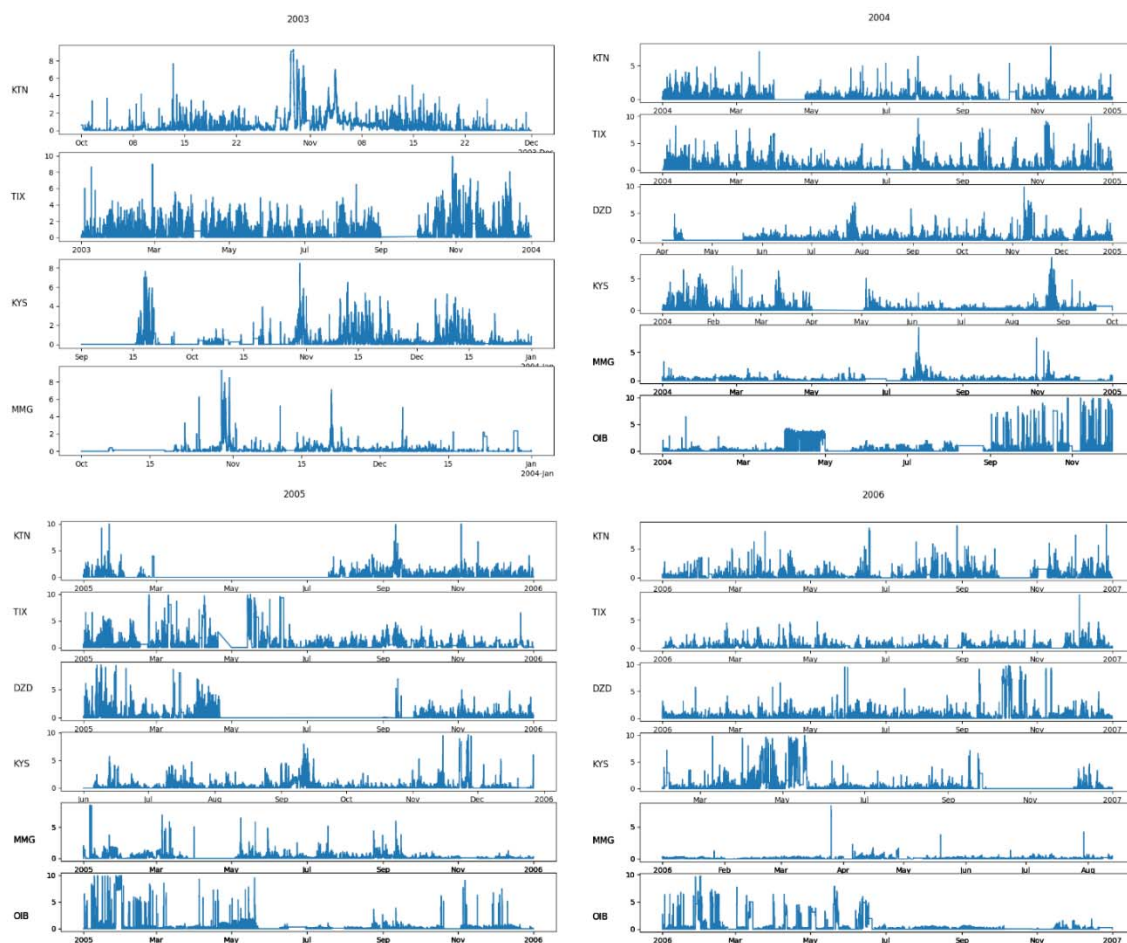


Рис. 2. Пример наличия данных поглощения космического радиопшума в дБ. На верхней половине графика представлены данные за 2003 и 2004 гг., на нижней – за 2005 и 2006 гг.

Дополнительно, для наглядной оценки наличия риометрических данных были визуализированы годовые ходы поглощения космического радиопшума всех станций (рис. 2). В итоге, со ст. Котельный присутствуют сведения с октября 2003 по август 2011 и с января 2013 по январь 2015, со ст. Тикси – с января 2003 по декабрь 2015, со ст. Джарджан – с апреля 2004 по ноябрь 2007, с апреля 2009 по июль 2013 и с марта 2015 по май 2015, со ст. Кыстатыам – с сентября 2003 по январь 2015, со ст. Маймага – с октября 2003 по февраль 2015, со ст. Ойбенкель – с января 2004 по декабрь 2006.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе проведен анализ данных риометрических станций ИКФИА СО РАН за 2003-2015 гг. Показано, что данные риометрических станций хорошо согласуются с событиями геомагнитных возмущений. Особенно хорошо это отражается в данных высокоширотных станций – Котельном и Тикси.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-17-20002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Косолапенко В.И., Галкин А.А., Иванов С.А. Измерения поглощения космического излучения на частоте 30 МГц в обсерватории «Ловозеро» // *Physics of Auroral Phenomena*, 2019. Т. 42, № 1, С. 176-179.

Харгривс Дж.К. Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи. Введение в физику околоземной космической среды. Перевод на русский язык, Ленинград Гидрометеониздат, 1982. 351 с.

Hargreaves J.K. Auroral Absorption of HF Radio Waves in the Ionosphere: A Review of Result from the First Decade of Riometry // *Proceedings of the IEEE*, Vol. 57, No. 8, 1969. P. 1348-1373.

URL: <https://ikfia.ysn.ru/riometr> (дата обращения: 25.03.2025)

URL: <https://www.spaceweatherlive.com/ru/solnechnaya-aktivnost/solnechnyy-cikl/istoriya-solnechnyh-ciklov.html> (дата обращения: 14.05.2026)