

Методы и средства массового мониторинга ионосферы доплеровским методом

В.Т. Поляков

АНО ВО РосНОУ, Москва, ул. Радио, 22.

Предложен простой метод массового мониторинга ионосферы с использованием примитивного АМ радиоприемника и ноутбука или ПК.

A simple method for mass monitoring of the ionosphere using a primitive AM radio receiver and a laptop or PC.

В последние годы значительно возросла интенсивность искусственных воздействий на ионосферу Земли. К ним относится работа мощных нагревных стендов в Тромсё (Норвегия), в Гаконе (Аляска), "Сура" (под Нижним Новгородом) и других. Часть этих работ проводится по программе HAARP, закрытой было в 2013 году, и сейчас открытой снова, а также по неизвестным и не объявляемым программам.

Многократно возросла активность загоризонтных радиолокационных станций (ЗГРЛС) как в России, так и в Европе и США. Мощность этих средств исчисляется мегаваттами, а с учетом выигрыша их гигантских антенн – гигаваттами. При таких мощностях в ионосфере изменяется концентрация электронов, возникают неоднородности разного масштаба, и наблюдается ряд нелинейных эффектов.

Участились также запуски тяжелых ракет, выводящих на околоземную орбиту искусственные спутники, автоматические и пилотируемые космические аппараты. Каждый запуск приводит к образованию "дыр" в ионосфере и долгоживущих неоднородностей, приводящих к нарушениям радиосвязи, истончению озонового слоя и другим нежелательным последствиям.

Одновременно на всей планете Земля участились геофизические, климатические и погодные аномалии. Связь между состоянием ионосферы и этими событиями отрицалась или замалчивалась до настоящего времени, и лишь в последние годы появляется все больше работ, указывающих на возможность такой связи. Ситуация приводит к появлению в прессе и сети Интернет массы слухов, домыслов и разных самых невероятных гипотез. Можно с уверенностью сказать, что мировая общественность крепко озабочена таким состоянием и требует, наконец, правды.

Делу может помочь большая гласность и открытость научных исследований, а также массовость мониторинга ионосферы. За погодой с большим интересом наблюдают все, тогда как за состоянием ионосферы – лишь узкая группа ученых и специалистов. Многие организации (ИЗМИРАН, ФИАН, Томский университет и др.) выкладывают в Интернет результаты текущих наблюдений за состоянием ионосферы, но, как правило, не сопровождая их понятными широкому кругу пользователей комментариями и пояснениями.

Наблюдение за состоянием ионосферы с помощью упомянутых ресурсов требует только наличия персонального компьютера и подключения к сети Интернет, что доступно практически всем. Одновременно имеет смысл наблюдать за состоянием магнитного поля Земли, интенсивностью резонансов Шумана и общим уровнем электромагнитного шума в КВ диапазоне от 2 до 30 МГц. Такие данные тоже есть в сети. В качестве примера на рис. 1 приведены две ионограммы от ИЗМИРАН, иллюстрирующие нормальную ионосферу (20.02.2016) и сильно возмущенную (27.12.2016). На первой имеется рассчитанный график электронной концентрации, на второй его нет из-за невозможности расчета при столь сильных возмущениях. Зато

наблюдается отражение на частоте 4 МГц с высоты 400 км, которое трудно объяснить естественными причинами.

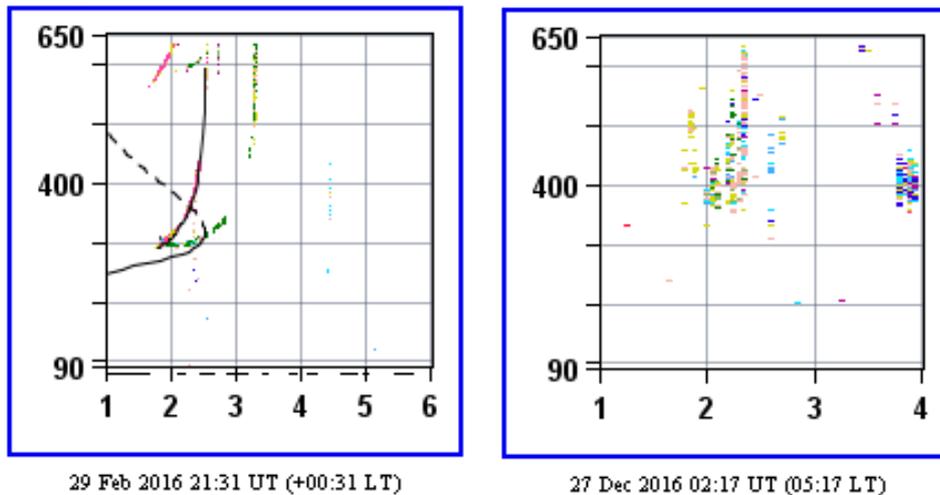


Рис.1. Пример нормальной (слева) и сильно возмущенной (справа) ионосферы

Весьма информативен доплеровский метод наблюдения за сигналами дальних КВ радиостанций. Кроме того, что это само по себе интересно, и позволяет оценить наличие прохождения радиоволн на разных частотах, с разных направлений и расстояний, доплеровский метод позволяет видеть турбулентность ионосферы в месте отражения радиоволн и вертикальные скорости клубов ионизированного газа.

Наблюдения автора проводились эпизодически на предельно простой установке, содержащей антенну (наклонный луч) длиной около 12 м, широкополосный АМ приемник (всего из нескольких деталей, рис. 2) и ноутбук с программой «Спектран». Пригодны также любые бытовые приемники с КВ диапазоном. Принцип работы приемника – выделение сигнала биений между несущими двух радиостанций, отстоящих по частоте на 5 или 10 кГц друг от друга, в соответствии с принятой во всех странах сеткой частот радиовещательных станций КВ диапазона. Установка располагалась в 30 км на юго-восток от Москвы. Помеховая обстановка в этом месте удовлетворительна.

Более детально принципы действия установки изложены в ранее опубликованных работах [1, 2], и еще значительно подробнее в [3].

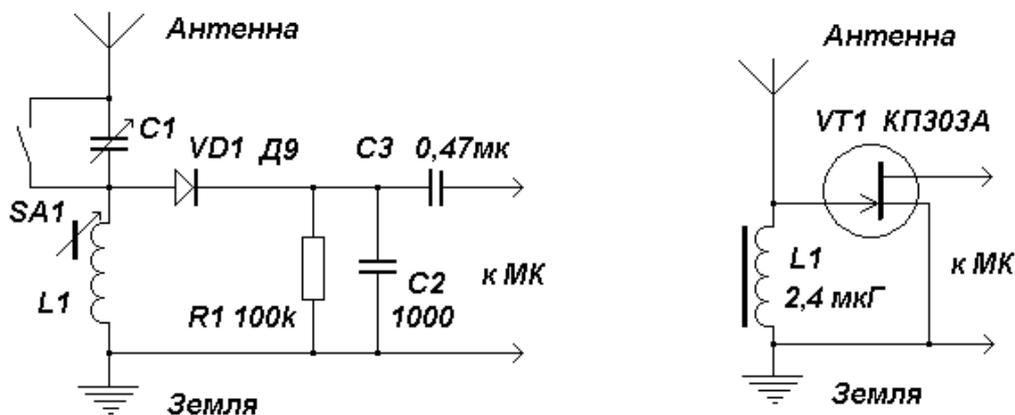


Рис. 2. Схемы простейших широкополосных АМ приемников, пригодных для доплеровских наблюдений за состоянием ионосферы: слева – детекторного, справа – транзисторного с питанием от микрофонного входа ноутбука

При использовании широкополосного приемника (рис. 2) стало видно несколько треков от разных пар станций (однажды автор насчитал 23), и появилась возможность их сравнивать. Больше треков видно при настройке Спектрана на частоту биений 10 кГц, потому что станции избегают работы на близких частотах с разносом 5 кГц. Минимальное разрешение Спектрана при настройке на 10 кГц равно 0,084 Гц, а диапазон обзора 25 Гц при горизонтальной и 50 Гц при вертикальной развёртке во времени. Вот пример типичной записи спектров, сделанный 13.02.2014 (рис. 3). Длительность кадра полчаса, минутные метки внизу кадра.

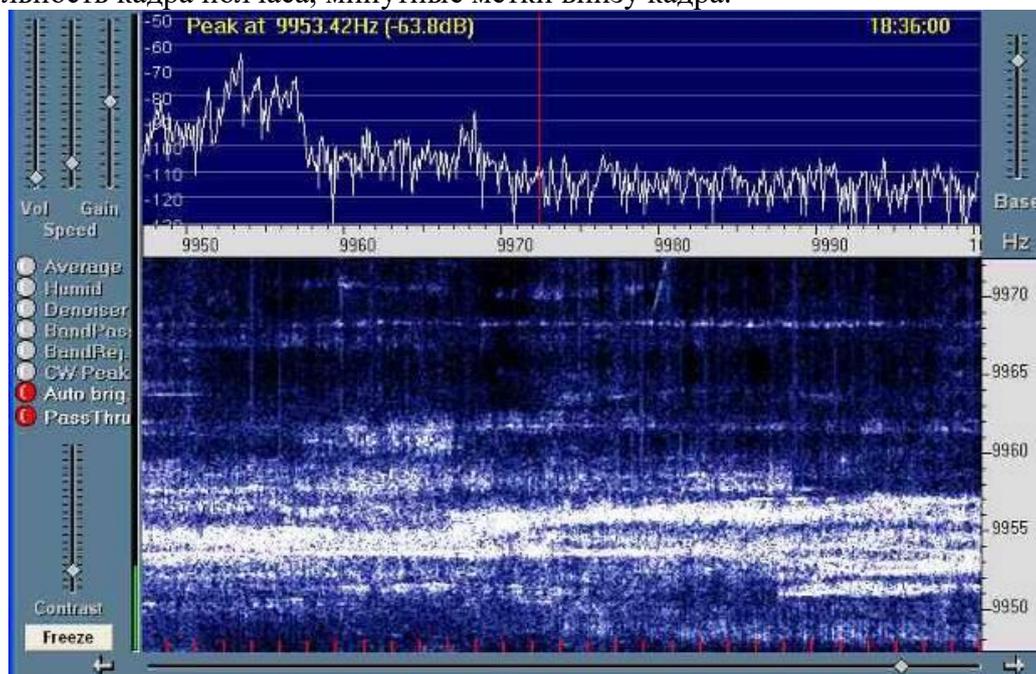


Рис. 3. Пример записи спектров биений между несущими КВ радиостанций

Приведён снимок всего экрана, чтобы были видны установки программы. В кадре столько информации, что описание заняло бы не одну страницу. Кратко укажу лишь самые характерные моменты, опираясь на частоту биений между несущими в герцах. 9971 – прохождение этой пары станций открылось на 6-й минуте записи и кончилось на 19-й. В конце трека дал сильное отражение метеорит или самолёт (наклонная линия). Видна длинная ионосферная волна. 9968 – у трека почти нет доплеровских сдвигов (линия горизонтальная), но сигнал сильно федингует, от S9 (яркие точки) до полного пропадания. 9967 – слабый и сильно размытый по спектру сигнал, пропал в конце записи. 9964 – два слабых трека видны в начале кадра (слева) почти без искажений, потом пропали и появились снова в середине кадра, с большим размытием. Просматривается длинная ионосферная волна, как бы продолжение волны на самом верхнем треке. 9961 – опять два слабых трека, на 7...11 минутах прошло сильное ионосферное возмущение, размывшее спектр и увеличившее уровень сигналов. Видна модуляция возмущения с периодом сначала 10 с, потом 15 с (искусственная?). 9950...9958 – плотная «пачка» мощных треков с разными размытиями и доплеровскими сдвигами. За 7 минут до конца записи (18:30) одни станции прекратили работу (верхний трек на 9958), другие включились (нижний трек на 9951). Над ним, в середине пачки, видны треки с большими доплеровскими сдвигами до 3-х герц, что иногда характерно для вечернего времени, близкого к закату.

Теперь посмотрим лишь фрагменты спектрограмм, записанных с широкополосным приемником (рис. 4). Слева – ионосферные волны средней длительности с периодом около трех минут. На двух ярких треках они сдвинуты по фазе, и если знать, откуда

приходят сигналы станций, можно оценить направление и скорость этих волн в ионосфере.

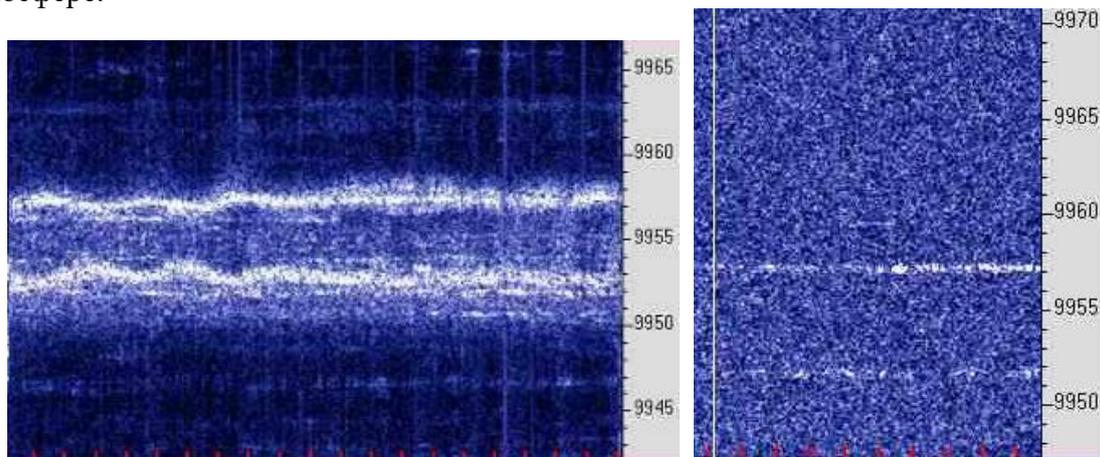


Рис. 4. Примеры спектрограмм. Слева – естественные ионосферные волны. Справа – запуск тяжелой ракеты «Протон» со спутником из Байконура

На рис. 4 справа показаны треки от китайских радиостанций, записанные в момент запуска из Байконура 28 августа 2015 года в 14:44 московского времени тяжелой ракеты "Протон" со спутником на борту. Прохождение было плохим, и треки слабые. Самый момент пуска обозначен вертикальной белой линией на левом краю спектрограммы. В центре картинке, через 4 минуты после старта можно разглядеть странную фигуру из трех наклонных и одной прямой линий выше основного, более сильного трека.

Расчет показывает, что ракете нужно 3...4 минуты, чтобы достичь ионосферы, и еще минуты полторы, чтобы пройти сквозь неё. Всё совпадает. Возможно, верхняя горизонтальная линия со сдвигом около 2 Гц (скорость 30 м/с) – это снос основной струи выхлопа ракеты ионосферным ветром, а наклонные линии с уменьшающимся доплеровским сдвигом – отражения сигнала от краев образовавшейся в ионосфере "дыры", расходящейся сначала быстро, а потом всё медленнее.

Примеры ясно показывают, что мониторинг ионосферы осуществим простыми подручными средствами, и автор надеется, что по мере освоения предложенных методов он станет массовым, и тем остановит бесконтрольное разрушение жизненно важной, но очень хрупкой и уязвимой ионосферы Земли.

Литература

1. Крюков П.С., Поляков В.Т. Детекторный прием на КВ и спектральный анализ сигналов // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. Издательство: Издательство Радиотехника (Москва) ISSN: 2070-0784. – 2014. – №8. – с. 44-50.
2. Крюков П.С., Поляков В.Т. Связь обширных ионосферных возмущений с работой нагревных стенов // Успехи современной радиоэлектроники. Зарубежная радиоэлектроника. Издательство: Издательство Радиотехника (Москва) ISSN: 2070-0784. – 2014. – №8. – с. 51-53.
3. Поляков В. RA3AAE. Детекторный SDR? // CQ-QRP # 46, весна 2014, с. 5-14. Электронный ресурс: <http://qrp.ru/cqqrp-magazine/945-cq-qrp-46>
4. Поляков В. RA3AAE. Детекторный видит пуски ракет! // CQ-QRP # 53, зима 2016, с. 6-8. Электронный ресурс: <http://qrp.ru/cqqrp-magazine/1206-cq-qrp-53>