

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИОНОГРАММ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ КАМЧАТСКОЙ ИОНОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ. ДАННЫЕ ИОНОСФЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ВО ВРЕМЯ БУРИ 7–11 НОЯБРЯ 2004 г.

¹А.Г. Ким, ¹Г.В. Котович, ¹В.П. Грозов, ²В.В. Бычков, ²А.В. Шумейко

APPLICATION OF CONTEMPORARY TECHNOLOGIES FOR KAMCHATKA'S AIS IONOGRAMM PROCESSING. DATA OF IONOSPHERE OBSERVATIONS DURING THE STORM NOVEMBER 7–11, 2004

¹A.G. Kim, ¹G.V. Kotovich, ¹V.P. Grozov, ²V.V. Bytchkov, ²A.V. Shumeiko

В качестве универсального комплекса для интерпретации ионограмм вертикального зондирования независимо от типа ионосферных станций предлагается SAO-Explorer, используемый в современных дигизондах. На примере данных камчатской ионосферной станции было показано, что переформатирование ионограмм в формат дигизонда осуществимо. Таким способом были подготовлены и обработаны камчатские данные, полученные в период 5–11 ноября 2004 г., когда наблюдалась сильнейшая магнитная буря. Приводятся для сравнения результаты наблюдений и на других станциях ВЗ (Якутск, Норильск, Иркутск).

SAO-Explorer included in digital ionosonde (digisonde) is suggested as universal software complex for interpretation of vertical sounding ionograms. Automatical ionospheric station (AIS) data recoding to "SAO-Explorer" format was realized successfully. Ionograms obtained by the Kamchatka's AIS during the period of intense magnetic storm of the November 7–11, 2004 were processed in this way. Data of observations by other ionosounders (Irkutsk, Yakutsk and Norilsk) are presented also.

Введение

Многие интересные явления космической погоды (солнечные вспышки, магнитные бури) проявляют себя в виде возмущений ионосферы Земли. Интерес к таким событиям не ослабевает [1], так как они сказываются не только на работе систем связи и космической техники, но и влияют на здоровье людей, особенно страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. По данным МЧС, вероятность чрезвычайных ситуаций в такие дни максимальна. Для получения сведений о состоянии ионосферы в конкретные моменты времени применяются различные ионосферные станции. Данные, которые человек получает с их помощью, позволяют выполнять диагностику ионосферы и прогнозировать ее состояние. Это помогает обеспечению надежной, а в некоторых ситуациях незаменимой радиосвязи на коротких волнах. Способы получения и записи ионограмм ионосферными станциями могут отличаться, но способы обработки, интерпретации ионограмм могут быть, как правило, описаны общими правилами и руководствами. Удобным и практичным потому выглядит создание и использование для этих целей универсального программного обеспечения и применение его независимо от типа ионосферных станций. Перевод данных камчатской автоматической ионосферной станции (АИС) вертикального зондирования (ВЗ) в формат цифрового импульсного ионозонда (дигизонда) [2] позволил выполнить полную обработку данных в соответствии с последними достижениями в этой области и получить весь набор ионосферных параметров [3]. В выбранный период 5–11 ноября 2004 г. происходили сильные геомагнитные возмущения (в результате солнечной активности высота Международной космической станции в начале ноября из-за уплотнения верхних слоев атмосферы стала на 7 км ниже расчетной).

Современная обработка ионограмм ВЗ

Одним из основных инструментов для наблюдения за состоянием ионосферы являются дигизонды, которые широко применяются во всем мире [4] и выпускаются Центром атмосферных исследований (Массачусетский университет Лоуэлла, США). В России дигизонды DPS-4 установлены в Иркутске, Норильске, Якутске и Жиганске. Основное назначение DPS-4: восстановление профиля электронной концентрации из ионограмм ВЗ и измерение скоростей дрейфа ионосферных неоднородностей на основе доплеровских и угломестных измерений. Важную роль играет скорость обработки получаемых ионосферных данных, особенно при осуществлении оперативного прогноза. Но, к сожалению, до сих пор остается нерешенной общемировая проблема полной автоматической обработки ионограмм. Единственным способом получить достоверную информацию остается привлечение к процессу обработки ионограмм квалифицированного оператора. Современные технологии позволяют облегчить его труд, свести к минимуму число необходимых рутинных операций. Но трудности, связанные с распознаванием и идентификацией, не позволяют полностью отказать от вмешательства опытного человека.

Самые широкие возможности предоставляет программный комплекс для обработки ионограмм ВЗ SAO-Explorer, входящий в комплект дигизонда и доступный на сайте Центра атмосферных исследований <http://ulcar.uml.edu/>. Перевод данных камчатской АИС в формат дигизонда позволил использовать широкий набор услуг и получить удобный доступ к полному набору ионосферных параметров. Он включает в себя критические частоты всех слоев, действующие высоты, $M(3000)$, параметры слоя E_s и др. Помимо этого автоматически рассчитывается $N(h)$ -профиль [5]. Имеется возможность сравнить экспериментальные значения с прогнозными, рас-

считываемыми по модели IRI. Автоматически получается суточный ход всех необходимых параметров с переменным шагом. Встроено получение контура и профиля плотности ионосферной плазмы. Настраивается цвет, имеется возможность сохранения в виде рисунка или таблицы. Обработанная информация надежно хранится в цифровом виде.

Геомагнитная обстановка

С 2 по 7 ноября 2004 г. существовала нарастающая солнечная активность на уровне нескольких вспышек класса M , которая завершилась 7 ноября генерацией вспышки уровня $X 2.0$ около 16 UT. Второй период активности завершился 10 ноября генерацией вспышки уровня $X 2.5$ около 02 UT. Магнитная буря в рассматриваемый период представляла собой сумму двух бурь, следующих одна за другой. Максимум главной фазы первой бури отмечался 8 ноября ($D_{st} \sim -373$ нТл), а второй – 10 ноября ($D_{st} \sim -289$ нТл).

Информация о солнечной и геомагнитной активности была получена через Internet. D_{st} – с <http://swdcd.db.kugi.kyotou.ac.jp/dstdir/dst1/p/dstprov200411.html>, $F10.7$ – с ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/FLUX/, а K_p (там же и A_p) – с ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/INDICES/KP_AP/ (рис. 1).



Рис. 1. Поведение основных геомагнитных индексов в период бури 7–11 ноября 2004 г.

Результаты обработки

Были выбраны и обработаны ионограммы, полученные камчатской АИС (53.1° N, 158.63° E) в период сильной магнитной бури 5–11 ноября 2004 г. Также привлекались данные, полученные на дигизондах в Норильске (69.4° N, 88.1° E), Якутске (62° N, 129.6° E) и Иркутске (52.4° N, 104.3° E). Использовалась одна и та же система обработки данных SAO-Explorer. На рис. 2 приведен суточный ход f_0F2 . Штриховой линией показан суточный ход значений, рассчитанных по модели IRI для среднемесячного индекса $F10.7 = 111.2$ ($R_z = 61$). Эти медианные значения характеризуют ионосферу в спокойных условиях, а отклонения от медианы указывают на то или иное возмущение (положительное или отрицательное). Отсутствие значений соответствует поглощению или появлению экранирующего слоя E_s .

В Якутске (рис. 2, б) возмущение, вызванное магнитной бурей, сопровождалось устойчивым боковым отражением, напоминающим дистанционно-частотную характеристику (ДЧХ). Также наблюда-

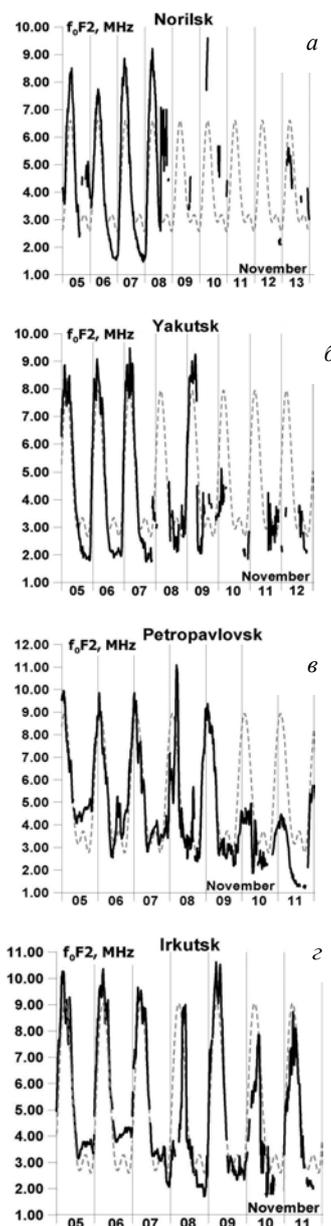


Рис. 2. Суточный ход f_0F2 .

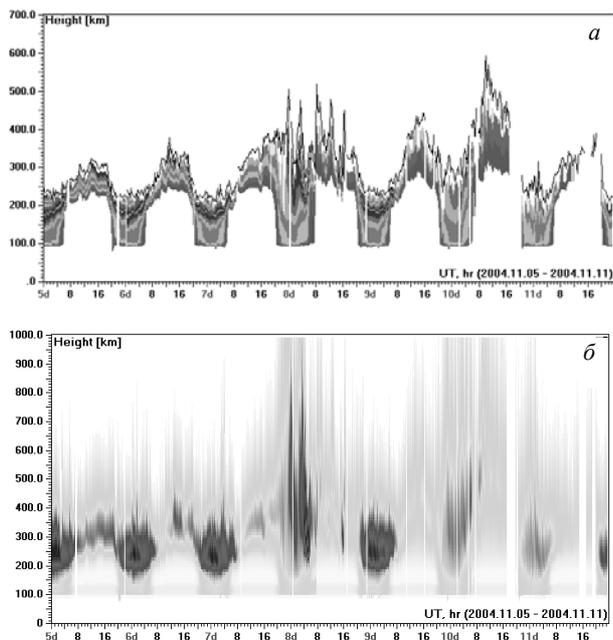


Рис. 3. Суточный ход изолиний (а) и профилограмма (б) электронной плотности, Петропавловск-Камчатский, 5–11 ноября 2004 г.

лись понижение f_0F2 (с последующим поглощением), F – рассеяние типа «полярная шпора» и экранирующий слой E_s типа «r». В Норильске (рис. 2, а) проявление магнитной бури стало заметно 7 ноября, когда в 13:15 UT (18:15 LT) при $f_0F2 = 2.73$ МГц, появилось боковое отражение с частотой до 9 МГц и минимальной действующей высотой 350 км. Также наблюдался спорадический слой E_s типа «r», характерный для высоких широт. Далее с 20 UT 7 ноября вплоть до 11 ноября регистрировалось полное поглощение с частичными появлениями в отдельные часы регулярного слоя F2 и спорадического E_s .

Изменения в ионосфере, характерные для высоких широт, затронули и средние широты Петропавловска-Камчатского (рис. 2, в) и Иркутска (рис. 2, з). Видно, что ионосфера претерпела заметное возмущение, продолжавшееся несколько дней. Дневные последствия магнитной бури в Иркутске проявились в уменьшении критических частот в два раза (рис. 2, з).

В эти дни характерным стало появление спорадических слоев как в нижней ионосфере (в E-слое), так и в слое F (F -рассеяние). Кроме того, 7 ноября на ионограммах наблюдаются наклонные отражения и расслоения в области максимума слоя F2 одновременно с восстановлением суточного хода f_0F2 . В Петропавловске-Камчатском (рис. 2, в) в конце дня 7 ноября наблюдалось ярко выраженное расслоение на F1- и F2-слои с последующим появлением положительного возмущения. Обработка ионограмм была затруднена такими проявлениями возмущения, как наклонные отражения и рассеяния типа «полярная шпора». В области f_0F2 наблюдались «крючки», «петли» и другие искажения, которые являются характерными проявлениями перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ). Кроме того, очень сильное отрицательное возмущение 10 ноября сопровождалось устойчивой структурой, отражение от которой было зарегистрировано на действующих

высотах вплоть до 600 км с частотным диапазоном приблизительно от 2 до 3.5 МГц. Существование этих отражений продолжалось несколько часов вплоть до 11 ноября.

На рис. 3, а представлен суточный ход высот равной электронной концентрации над Петропавловском за весь период наблюдений. Верхняя крайняя изолиния соответствует максимуму электронной плотности слоя F2. На профилограмме же (рис. 3, б) хорошо заметно расширение ионосферы 8 и уменьшение электронной плотности 10–11 ноября. И если на Камчатке высота максимума достигала 600 км, то в Иркутске и Якутске – 450 км. В Норильске же в течение нескольких дней наблюдалось сильнейшее поглощение, затронувшее и средние широты Якутска, Петропавловска-Камчатского и Иркутска.

Выводы

Преобразование данных в формат дигизонда и широкие возможности программного комплекса, использованного для обработки ионограмм ВЗ камчатской АИС, позволили увеличить скорость получения и удобство представления большого набора ионосферных параметров, чем это было раньше. Обработанные таким образом ионограммы камчатской станции ВЗ в период сильной магнитной бури 7–11 ноября 2004 г. дополнили картину произошедших событий и позволили получить более полную информацию о процессах в возмущенной ионосфере. Представленные данные экспериментальных наблюдений на современных ионозондах ВЗ от Иркутска до Камчатки в период сильнейшей магнитной бури хорошо вписались в международную базу данных и информативно дополнили ее.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 03-05-64527, 05-07-90212) с использованием данных центра коллективного пользования ВСЦИИЗ и в рамках гранта № НШ-272.2003.5 государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации. Также авторы выражают признательность Ратовскому К.Г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геомагнетизм и аэрономия. 2005. Т. 45, № 1.
2. Reinisch B.W., Haines D.M., Bibl K. et al. Ionospheric sounding support of OTH radar // Radio Sci. 1997. V. 32, N 4. P. 1681–1694.
3. Piggott W.R., K. Rawer. U.R.S.I. Handbook of Ionogram Interpretation and Reduction. World Data Center A. Report UAG – 23A. 1978.
4. Reinisch B.W., Galkin I.A., Khmyrov G. et al. Automated collection and dissemination of ionospheric data from the digisonde network // Adv. Radio Sci. 2004. V. 2. P. 241–247.
5. Reinisch Bodo W., Gamache Robert R., Xueqin Huang, McNamara Leo F. Real time electron density profiles from ionograms // Adv. Space Res. 1988. V. 8, N. 4. P. (4)63–(4)72.

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка