

Интернет-ресурсы со свободным доступом к данным вертикального радиозондирования ионосферы – перспективы и проблемы их использования

А.О. Щирый¹, А.А. Писаренко²

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова, Москва*

² *Московский индустриальный колледж, Москва*

Аннотация. В работе представлены некоторые интернет-ресурсы с данными вертикального радиозондирования ионосферы, показаны перспективы их применения, а также обозначены некоторые проблемы, главная из которых это недостаточная документированность некоторых форматов данных.

Ключевые слова: ионосфера, радиозондирование, вертикальное зондирование ионосферы, ионограмма

Free Internet resources with vertical ionospheric radiosounding data – prospects and problems of their use

A.O. Schiriy¹, A.A. Pisarenko²

¹ *Institute of Earth Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation RAN
named N.V. Pushkov, Moscow*

² *Moscow Industrial College, Moscow*

Abstract. Some Internet resources with data from vertical radiosounding of the ionosphere are presented, the perspectives of their application are shown, and some problems are indicated, the main one of which is insufficient documentation of some data formats.

Keywords: ionosphere, radiosounding, vertical sounding of the ionosphere, ionogram

Введение

Исследования ионосферы необходимы как для целей фундаментальной науки (построение моделей геофизических процессов), так и для прикладных целей (распространение радиоволн различных диапазонов через ионосферу, обеспечение функционирования радиотехнических систем связи, локации, навигации). Вообще, методы исследования и диагностики ионосферы делятся на дистанционные и контактные. В данной работе будем рассматривать только дистанционный метод наземного радиозондирования. Вообще, радиозондирование можно осуществлять как с Земли (передатчики и приемники – на Земле), так и со спутников (передатчики и приемники – на спутниках), возможны и смешанные схемы, существует также трансionoсферное спутниковое зондирование [1]. В данной работе будет рассматриваться только наземное радиозондирование, и только коротковолновыми (КВ) радиосигналами. Из методов наземного радиозондирования, наибольший интерес представляют вертикальное, наклонное, и возвратно-наклонное зондирование ионосферы, соответственно ВЗИ, НЗИ, ВНЗИ [1-5]. В данной работе будут рассматриваться интернет-ресурсы со свободным доступом к данным ВЗИ.

1. Мотивация

Интерес к большим массивам данных радиозондирования ионосферы обусловлен, кроме прочего, возможностью «тренировки» статистических моделей методами теории обучения машин, тем более если наряду с сырыми данными имеются и обработанные – выделенные треки мод радиосигнала, критически частоты ионосферных слоёв, и др. (то есть это уже размеченные датасеты).

Ионограмма ВЗИ представляет собой зависимость амплитуды радиосигнала от частоты и высоты отражения; пример ионограммы ВЗИ приведен на рис.1, также поверх ионограммы построен восстановленный по ней модельный профиль электронной концентрации. На рис.2. представлен другой пример ионограммы ВЗИ, где кроме профиля электронной концентрации «поверх» ионограммы прорисованы автоматически выделенные и идентифицированные моды КВ радиосигнала (с отражениями от слоев E, F1, F2, а также F2-«необыкновенная» мода X).

2. Интернет-ресурсы

В данной работе нами рассматривались следующие интернет-ресурсы [6-11], а конкретнее – их архивы ионосферных данных: Национальный центр геофизических данных США [6], Канадская арктическая ионосферная сеть [7], Служба космической погоды Бюро метеорологии Австралии [8], База данных Европейского ионосферного центра [9], Институт физики атмосферы Чешской Академии Наук [10],

Центр изучения космоса и атмосферы радиотехническими средствами Киотского университета [11]. Форматы данных [12-17] рассмотрены ниже.

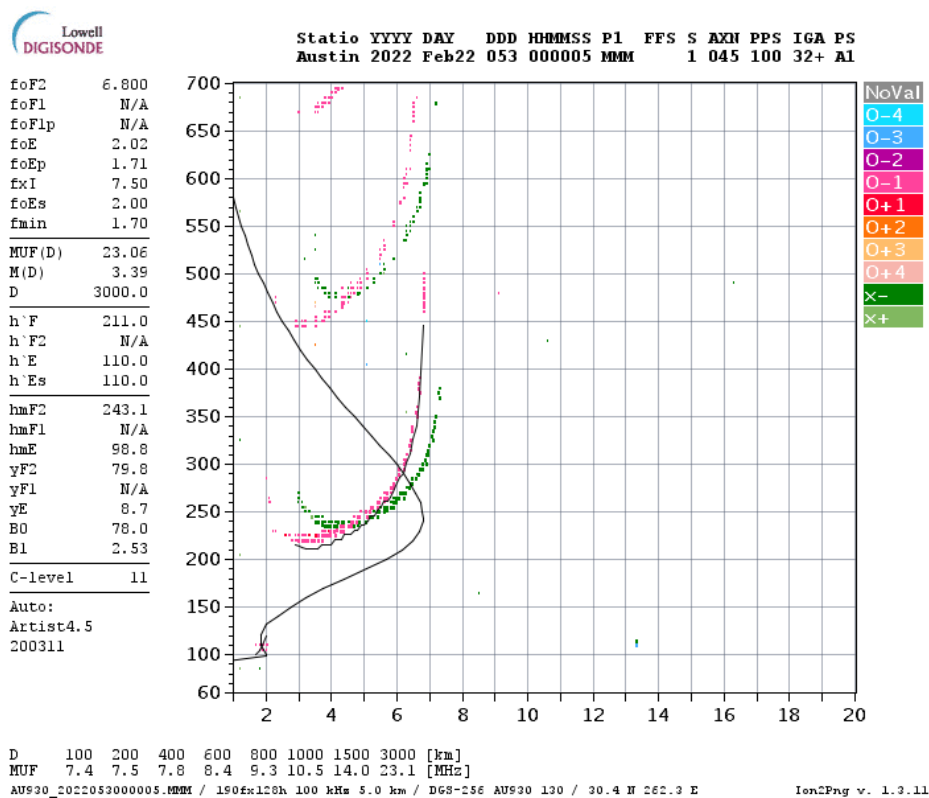


Рис. 1. Пример ВЗИ-ионограммы «дигизонда» DPS в формате картинки

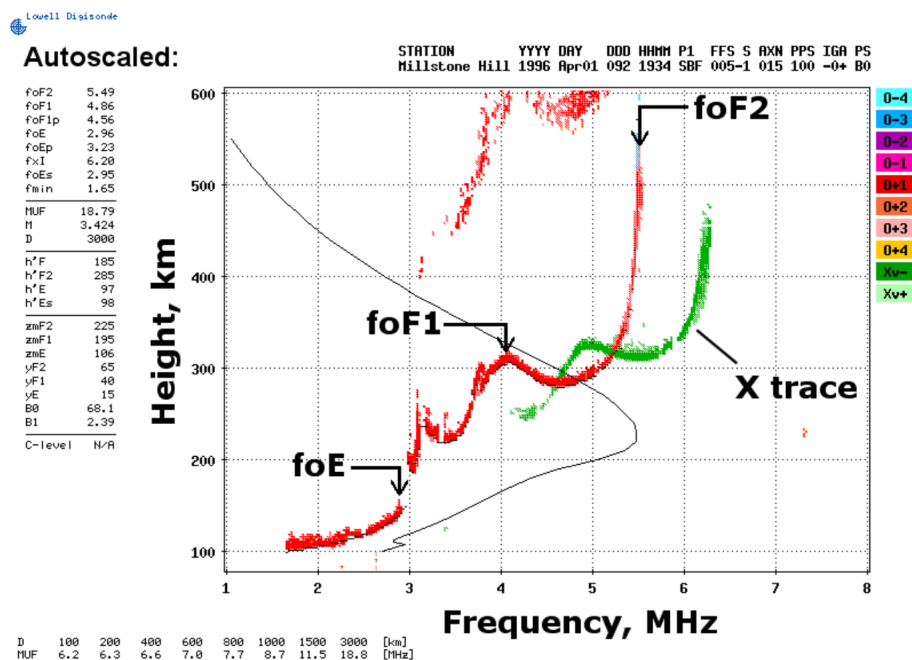


Рис. 2. ВЗИ-ионограмма «дигизонда» DPS с указанием названий мод

3. Наиболее популярные форматы данных ВЗИ

В мире наиболее часто используемыми ионозондами являются различные версии (поколения) ионозонда (также называемого «дигизонд») DPS (Digisonde Portable Sounder) Центра атмосферных исследований Lowell Массачусетского университета [14,15], канадские ионозонды CADI (Canadian Advanced Digital Ionosonde) [12], а также австралийский ионозонд IPS (Ionospheric Predictions Service) представленный также в нескольких версиях (поколениях) [13]. Разумеется, это далеко не полный список, например здесь не упомянуты российский ионозонды, однако в свете целей данной статьи рассмотрены только те, архивы данных с которых можно найти в Интернете в открытом доступе. Указанные выше Интернет-ресурсы [6-11] содержат ионограммы ВЗИ в каких-либо из перечисленных форматов, причем один ресурс может содержать данные в разных форматах (так например австралийский архив [8] содержит данные и с IPS, и с DPS, и с CADI ионозондов).

Важной проблемой для практического использования всех этих открытых данных в научных исследованиях (в случае обработки программным обеспечением собственной разработки) является неполная документированность форматов.

Так формат ионограмм CADI хоть и документирован [12], но, по-видимому, документирован не полностью, т.к. остаются нерешенными проблемы с просмотром некоторой доли ионограмм как при самостоятельной реализации программного обеспечения в соответствии с документацией, так и при использовании open-source реализаций, которые можно найти в Интернете.

Из различных поколений форматов австралийских ионозондов IPS документированы не все: так на сайте самой Службы космической погоды Бюро метеорологии Австралии [8] представлены ионограммы «поколений» 4a, 4b, 4c, 4d, 5a, 5b, 5c, 5d, однако имеющееся описание [13] соответствует по-видимому только наиболее современному формату IPS 5d.

Из всей «линейки» поколений форматов дигизондов – MMM, BEM, SBF, RSF-flex, PGH, RSF, BIT удается найти только лишь описания форматов MMM, SBF, RSF [15].

Следует упомянуть также «дигизондовские» форматы SAO [16] и SAOXML [17], не предназначенные для хранения «сырых» данных ионограмм, но предназначенные для хранения результатов обработки ионограмм (выделенные треки мод распространения КВ радиосигнала, идентифицированные ионосферные слои и их высоты, восстановленные профили электронной концентрации, и др.); форматы SAO и SAOXML широко используются для указанных целей на указанных в работе Интернет-ресурсах, причем не только с «дигизондами».

Заключение

Итак, в работе были представлены Интернет-ресурсы со свободным доступом к данным вертикального радиозондирования ионосферы. Интерес к большим массивам данных радиозондирования ионосферы обусловлен, кроме прочего, возможностью «тренировки» статистических моделей методами теории обучения машин. Рассмотрены наиболее популярные форматы данных, отмечена недостаточная документированность некоторых из них.

Литература

1. Радиозондирование ионосферы спутниковыми и наземными ионозондами / Под ред. С. И. Авдюшина. Труды института прикладной геофизики им. академика Е. К. Фёдорова. — М.: ИПГ, 2008. — URL: <http://ipg.geospace.ru/publications/book-2008.pdf>
2. Щирый А.О. Разработка и моделирование алгоритмов автоматического измерения характеристик ионосферных коротковолновых радиолиний: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: Спец. 05.12.04; Санкт-Петербургский гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. — СПб., 2007. — 19 с.
3. Щирый А.О. Развитие средств автоматизации наземного радиозондирования ионосферы // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. — 2014. №5. — с.170-173.
4. Щирый А.О. Архитектура программной части аппаратно-программного комплекса дистанционного наземного радиозондирования ионосферы // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. — 2015. №18. — с.144-152.
5. Щирый А.О. Алгоритмы и программное обеспечение автоматизации процессов измерений и обработки данных оперативной диагностики ионосферы и ионосферных радиолиний // Журнал радиоэлектроники. — 2022. №10. — <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.10.4>
6. USA National Geophysical Data Center (NGDC) Data Services. — URL: <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/ionosonde/>
7. Canadian High Arctic Ionospheric Network (CHAIN) Data Download. — URL: http://chain.physics.unb.ca/chain/pages/data_download
8. Australian Government – Bureau of Meteorology, Space Weather Services. Ionospheric data archive. — URL: https://downloads.sws.bom.gov.au/wdc/wdc_ion_archive/
9. IDCE (Ionospheric Dispatch Centre in Europe) data base. — URL: <ftp://ftp.cbk.waw.pl/idce/>
10. Institute of Atmospheric Physics CAS, Czech Republic. URL: <http://147.231.47.3>
11. Radio Science Center for Space and Atmosphere at Kyoto University. — URL: <http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/mudb/data/ionosonde/text/>

12. CADI users manual, Scientific Instrumentation Ltd. 2002. URL: https://www.naic.edu/~phil/hardware/cadi/Cadi_users_Manual.pdf
13. Ionogram Data Format. Australian Space Weather Services. URL: https://www.sws.bom.gov.au/World_Data_Centre/2/8/3
14. The New Digisonde for Research and Monitoring Applications / B. W. Reinisch, I. A. Galkin, G. M. Khmyrov, A. V. Kozlov, K. Bibl, I. A. Lisysyan, G. P. Cheney, X. Huang, D. F. Kitrosser, V. V. Paznukhov, Y. Luo, W. Jones, S. Stelmash, R. Hamel, J. Grochmal // Radio Sci. 2009. Vol. 44, iss. 1. doi:10.1029/2008RS004115
15. Digisonde 4D An HF Radar System for Ionospheric Research and Monitoring. Technical Manual. Ver. 1.2.11. URL: http://digisonde.com/pdf/Digisonde4DManual_LDI-web.pdf
16. Standard Archiving Output (SAO) Format. 2006. URL: <https://ulcar.uml.edu/~iag/SAO-4.3.htm>
17. Reinisch, B. W., and I. A. Galkin (2008), SAO.XML format specification v 5.0, Univ. of Mass. Lowell, Lowell. (Available at <http://ulcar.uml.edu/SAOXML>)

References

1. Radiozondirovanie ionosfery sputnikovymi i nazemnymi ionozondami / Pod red. S. I. Avdyushina. Trudy instituta prikladnoj geofiziki im. akademika E.K.Fyodorova — M.: IPG, 2008. — URL: <http://ipg.geospace.ru/publications/book-2008.pdf>
2. Schiriy A.O. Razrabotka i modelirovanie algoritmov avtomaticheskogo izmereniya harakteristik ionosfernyh korotkovolnovyh radiolinij: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: Spec. 05.12.04; Sankt-Peterburgskij gos. un-t telekommunikacij im. prof. M.A. Bonch-Bruevicha. — SPb., 2007. — 19 p.
3. Schiriy A.O. Razvitie sredstv avtomatizacii nazemnogo radiozondirovaniya ionosfery // Fundamental'nye problemy radioelektronnoho priborostroeniya. — 2014. №5. — p.170-173.
4. Schiriy A.O. Arhitektura programmnoj chasti apparatno-programmnogo kompleksa distancionnogo nazemnogo radiozondirovaniya ionosfery // Novye informacionnye tekhnologii v avtomatizirovannyh sistemah. — 2015. №18. — p.144-152.
5. Schiriy A.O. Algoritmy i programmnoe obespechenie avtomatizacii processov izmerenij i obrabotki dannyh operativnoj diagnostiki ionosfery i ionosfernyh radiolinij // ZHurnal radioelektroniki. — 2022. №10. — <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.10.4>
6. USA National Geophysical Data Center (NGDC) Data Services. — URL: <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/ionosonde/>

7. Canadian High Arctic Ionospheric Network (CHAIN) Data Download. — URL: http://chain.physics.unb.ca/chain/pages/data_download
8. Australian Government – Bureau of Meteorology, Space Weather Services. Ionospheric data archive. — URL: https://downloads.sws.bom.gov.au/wdc/wdc_ion_archive/
9. IDCE (Ionospheric Dispatch Centre in Europe) data base. — URL: <ftp://ftp.cbk.waw.pl/idce/>
10. Institute of Atmospheric Physics CAS, Czech Republic. URL: <http://147.231.47.3>
11. Radio Science Center for Space and Atmosphere at Kyoto University. — URL: <http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/mudb/data/ionosonde/text/>
12. CADI users manual, Scientific Instrumentation Ltd. 2002. URL: https://www.naic.edu/~phil/hardware/cadi/Cadi_users_Manual.pdf
13. Ionogram Data Format. Australian Space Weather Services. URL: https://www.sws.bom.gov.au/World_Data_Centre/2/8/3
14. The New Digisonde for Research and Monitoring Applications / B. W. Reinisch, I. A. Galkin, G. M. Khmyrov, A. V. Kozlov, K. Bibl, I. A. Lisysyan, G. P. Cheney, X. Huang, D. F. Kitrosser, V. V. Paznukhov, Y. Luo, W. Jones, S. Stelmash, R. Hamel, J. Grochmal // Radio Sci. 2009. Vol. 44, iss. 1. doi:10.1029/2008RS004115
15. Digisonde 4D An HF Radar System for Ionospheric Research and Monitoring. Technical Manual. Ver. 1.2.11. URL: http://digisonde.com/pdf/Digisonde4DManual_LDI-web.pdf
16. Standard Archiving Output (SAO) Format. 2006. URL: <https://ulcar.uml.edu/~iag/SAO-4.3.htm>
17. Reinisch, B. W., and I. A. Galkin (2008), SAO.XML format specification v 5.0, Univ. of Mass. Lowell, Lowell. (Available at <http://ulcar.uml.edu/SAOXML>)