

УДК 537.877+537.871.52

ВЛИЯНИЕ АВРОРАЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ СИГНАЛОВ СВЕРХДЛИННОВОЛНОВЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РСДН-20

© 2024 г. А. В. Ларченко¹*, А. С. Никитенко¹, О. М. Лебедь¹, С. В. Пильгаев¹, Ю. В. Федоренко¹

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Полярный геофизический институт”, Апатиты, Россия

*E-mail: alexey.larchenko@gmail.com

Поступила в редакцию 24.08.2023

После доработки 13.11.2023

Принята к публикации 30.11.2023

Представлены результаты анализа сигналов СДВ-передатчиков радионавигационной системы РСДН-20, зарегистрированных в обсерваториях “Ловозеро”, “Верхнетуломский” (обе на Кольском полуострове) и “Баренцбург” (архипелаг Шпицберген). Обнаружены события нетипичного уменьшения амплитуды горизонтального магнитного поля этих сигналов в ночное время, которое происходило на фоне суббури при значениях AL-индекса от –500 нТл и ниже. Рассмотрены случаи, когда во время суббури были доступны оптические наблюдения, по данным которых регистрировались авроральные высыпания. Обнаруженный эффект может быть связан с локальными изменениями профиля электронной концентрации нижней ионосферы, вызванными высыпаниями заряженных частиц во время суббури.

DOI: , EDN:

ВВЕДЕНИЕ

Проблема диагностики нижней ионосферы в высоких широтах является актуальной и в настоящее время. Прямые измерения концентрации электронов невозможны, поскольку характерные высоты этой области (70–95 км) слишком высоки для аэростатов и слишком низки для большинства спутников. Использование ионозондов также не позволяет надежно измерять концентрацию электронов нижней ионосферы ввиду ее малых значений. К основным радиофизическим методам мониторинга высокоширотной нижней ионосферы относятся методы кросс-модуляции, частичных отражений и некогерентного рассеяния радиоволн [1, 2].

Для оценки вариаций электронной концентрации нижней ионосферы широко используются данные наземной регистрации сигналов передатчиков, работающих на сверхдлинных волнах (СДВ) [3–5]. Волны данного частотного диапазона хорошо распространяются в волноводе Земля–ионосфера, затухая в среднем всего на 2–3 дБ на 1000 км [1, 6]. При этом амплитуда и фаза радиосигналов СДВ-диапазона чувствительны к изменениям электропроводности нижней ионосферы [7, 8]. Это имеет особое значение в высоких широтах, особенно при изучении внезапных ионосферных возмущений, которые связаны с мгновенным

выходом потока рентгеновского излучения от солнечных вспышек и гамма-всплесков, а также при вторжении в ионосферу высокоэнергичных протонов. Также известно, что сильные геомагнитные возмущения и суббури вызывают большие и глобальные возмущения в ионосфере, которые могут существенно повлиять на распространение СДВ-сигналов в области D ионосферы. Этот факт дает возможность использовать результаты их регистрации для оценки профиля электронной концентрации и обнаружения неоднородностей нижней ионосферы.

Наряду с регистрацией СДВ-сигналов передатчиков широко используются риометры, которые также позволяют диагностировать активность электромагнитного излучения и потоков энергичных протонов от Солнца. Следует отметить, что область высот ионосферы, существенная для распространения СДВ, как правило, лежит немного ниже области, вносящей максимум поглощения космического радишума [3]. Поэтому для более точной оценки профиля электронной концентрации нижней ионосферы измерения СДВ дополняют измерениями значений риометрического поглощения и, таким образом, способствуют увеличению информативности наблюдений.

ночные значения амплитуды СДВ-сигнала передатчика KRS в LOZ, которая расположена на радиотрассе KRS—BAB, во время всплеска геомагнитной активности уменьшились в несколько раз, в то время как амплитуда сигнала передатчика KRS в BAB не изменилась совсем.

Можно предположить, что значительные изменения амплитуд сигналов СДВ-передатчика KRS в LOZ в ночных условиях во время суббури по сравнению с невозмущенным периодом вызваны тем, что в окрестностях LOZ расположена локальная область ослабления сигнала, вызванная интерференцией TM_0 - и TM_1 -нормальных волн. О существовании интерференции мод СДВ-волн, особенно сильно выраженной в ночных условиях, известно, например, из работ [3, 19]. К тому же в работе [3] говорится о том, что СДВ-поле в окрестности интерференционного минимума обладает максимальной чувствительностью к возмущениям нижней ионосферы.

Для проведения дальнейших исследований необходимо привлечение модели распространения СДВ в неоднородном волноводе Земля—ионосфера с пространственными масштабами неоднородностей, соответствующими размерам неоднородностей, вызванных дискретными и диффузными электронными высыпаниями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа компонент магнитного поля сигналов передатчиков радионавигационной системы РСДН-20 по данным наземных наблюдений в обсерваториях “Ловозеро”, “Верхнетуломский” и “Баренцбург” показано, что часто во время повышения геомагнитной активности значение амплитуды тангенциальной к трассе компоненты магнитного поля в ночное время снижается до дневных значений. Такой эффект наблюдается для трасс Краснодар — “Ловозеро” и Краснодар — “Верхнетуломский”.

Наблюдаемые вариации амплитуды могут быть результатом локальных изменений профиля проводимости ионосферы, возникающих в результате высыпаний электронов с энергиями более 30 кэВ во время суббури.

Связать величину относительного понижения амплитуд сигналов в ночное время в периоды суббури с величиной перекрытия радиотрасс овалом полярных сияний затруднительно. Для интерпретации наблюдаемого эффекта необходимо привлечение модели распространения СДВ в неоднородном волноводе Земля—ионосфера.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-12-20017; <https://rscf.ru/project/22-12-20017/>; Ларченко А. В., Никитенко А. С., Лебедь О. М., Федоренко Ю. В.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hunsucker R. D., Hargreaves J. K.* The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation. Cambridge Atmospheric and Space Science Series. Cambridge University Press, 2003. 617 p.
2. *Ратклифф Дж.* Введение в физику ионосферы и магнитосферы. М.: Мир, 1975. 296 с.
3. *Белоглазов М. И., Ременец Г. Ф.* Распространение сверхдлинных радиоволн в высоких широтах. Л.: Наука, 1982. 240 с.
4. *Ременец Г. Ф., Белоглазов М. И.* // Изв. ВУЗов. Радиофиз. 1985. Т. 28. № 12. С. 1491.
5. *Cummer S. A., Bell T. F., Inan U. S., Chenette D. L.* // JGR. 1997. V. 102. No. A4. P. 7477.
6. *Cummer S. A.* // IEEE Trans. Antennas Propag. 2000. No. 48. P. 1420.
7. *Wait J. R.* // IEEE Trans. Antennas Propag. 1991. No. 39. P. 1051.
8. *Barr R., Jones D. L., Rodger C. J.* // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2000. No. 62. P. 1689.
9. *Westerlund S., Reder F. H., Abom C.* // Planet. Space Sci. 1969. V. 17. P. 1329.
10. *Пильгаев С. В., Ларченко А. В., Федоренко Ю. В. и др.* // ПТЭ. 2021. № 5. С. 115; *Pil'gaev S. V., Larchenko A. V., Fedorenko Y. V. et. al.* // Instr. Exper. Tech. 2021. V. 64. No. 5. P. 744.
11. *Пильгаев С. В., Ларченко А. В., Филатов М. В. и др.* // ПТЭ. 2018. № 6. С. 49; *Pil'gaev S. V., Larchenko A. V., Filatov M. V. et. al.* // Instr. Exper. Tech. 2018. V. 61. No. 6. P. 809.
12. www.sgo.fi/Data/Riometer/riometer.php
13. *Meyer P., Parker E. N., Simpson J. A.* // Phys. Rev. 1956. V. 104. No. 3. P. 768.
14. *Perez-Peraza J. A., Márquez-Adame J. C., Caballero-Lopez R.A et. al.* // Adv. Space Res. 2020. V. 65. No. 1. P. 663.
15. <https://www.ncei.noaa.gov/archive>
16. <http://apm.pgia.ru>
17. *Vorobjev V. G., Yagodkina O. I., Katkalov Y.* // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2013. V. 102. No. 9. P. 157.
18. *Kaepler S. R., Marshall R., Sanchez E. R. et. al.* // Front. Astron. Space Sci. 2022. V. 9. Art. No. A1028042.
19. *Morfit D. G.* Effective electron density distributions describing VLF/ELF propagation data. Naval Ocean Systems Center Technical Report NOSC/TR 141. NTIS Accession No. ADA047508. National Technical Information Service Springfield, 1977. 86 p.