

УДК 621.391.812.632

КОРОТКОВОЛНОВЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ И МОДИФИКАЦИЯ ИОНОСФЕРЫ

В. П. Сивоконь, старший научный сотрудник Института космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, к.т.н.; vsivokon@mail.ru

Ключевые слова: модификация ионосферы, прохождение радиоволн, КВ-диапазон.

В работе [1] рассматривалось влияние экспериментов по модификации ионосферы на помеховую обстановку в диапазоне коротких волн (КВ). А поскольку связь в КВ-диапазоне основана на отражении электромагнитной волны от ионосферы, неизбежно встает вопрос о возможном влиянии активных экспериментов на состояние ионосферного канала связи как следствие изменения свойств ионосферы. Явление это не новое, однако степень его воздействия на работу радиолиний до сих пор не изучена, поэтому очень важно использовать для изучения и анализа любые возможные, в том числе естественные, возникающие в подходящих ситуациях на линиях связи между судами морского флота. В качестве примера рассмотрим имевшее место нарушение коротковолновой связи с судами, оказавшимися в водах Берингова и Чукотского морей.

В большинстве случаев связь с судами, находящимися в приполярных районах, осуществляется с помощью КВ-каналов. Нормальное их функционирование во многом зависит от адекватного прогноза прохождения коротких волн. В настоящее время широко используются программы прогнозирования, в основу которых положены модели ионосферы, учитывающие состояние солнечной активности и магнитного поля Земли, что предполагает применение общепринятых для оценки этого состояния параметров. Входными параметрами, как правило, являются планетарный магнитный индекс K_p и интенсивность солнечного излучения на длине волны 10,7 см.

Как показали исследования селективного поляризованного возбуждения характеристических волн в ионосфере [2], для оценки влияния уровня возмущенности магнитного поля Земли на параметры ионосферы целесообразнее использовать вариации магнитного поля Земли Dst . Они, в отличие от общепринятого планетарного магнитного индекса K_p , характеризуют не только степень возмущенности магнитного поля Земли, но и фазу возмущения. В нашем случае в качестве источников информации использовались Dst -вариации магнитного поля Земли университета Киото http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html. Состояние солнечной активности оценивалось по данным сайта <http://www.dxlc.com/solar/index.html>.

Проведение эксперимента. Взаимное положение судов, создающее уникальную конфигурацию относительно широты расположения пункта, где проводятся эксперименты по активному воздействию на ионосферу, явление редкое. Такое событие с участием судов, приписанных к порту Петропавловск-Камчатский, имело место в августе–сентябре 2008 г. 16 сентября судно А находилось южнее Северного полярного круга (рис. 1), практически на широте населенного пункта Gakona (шт. Аляска, США) — $62^\circ N$, места проведения экспериментов по программе HAARP (High Frequency Active Auroral Research



Рис. 1

Program), а судно Б — за полярным кругом; при этом широта пункта Gakona приходилась примерно на середину трассы Петропавловск-Камчатский — судно Б. Береговой узел связи был расположен в Петропавловске-Камчатском.

Обеспечение связи с судном Б при прохождении им полярного круга требовало особого внимания в плане подбора рабочих частот. Тем не менее до и после событий, последовавших 16 сентября, удавалось поддерживать устойчивую связь. В ночь с 15 на 16 сентября 2008 г. прохождение радиоволн ухудшилось, и к утру 16 сентября связь с судном Б прервалась. Поскольку изменений в состоянии солнечной активности не наблюдалось, обратились к состоянию магнитного поля Земли. По данным университета Киото, особых возмущений в магнитном поле Земли зафиксировано не было: $-35 < Dst < 0$ нТл.

Анализ ионограмм станций вертикального зондирования ионосферы Петропавловска-Камчатского и Магадана показал наличие отражения на уровне слоя E. При этом из ионограммы станции Петропавловска-Камчатского следовало, что слой E экранирует слой F, а на широте Магадана наблюдался развитый слой E при отсутствии отражения от слоя F. На этом основании было принято решение о необходимости использовать для обоих судов более низкие частоты. Однако снижение рабочих частот обеспечило устойчивую связь лишь с судном А — прямой связи с судном Б не было. Восстановить ее удалось только благодаря использованию судна А в качестве ретранслятора.

Поскольку судно Б находилось за полярным кругом, для оценки ситуации были задействованы ионограммы станций, расположенных на Аляске. Ионограмма станции Gakona показала отсутствие отражения от ионосферы во всей полосе частот ионозонда, что характерно для возмущенного состояния ионосферы [4]. Такая же картина наблюдалась и на станции Collage. В то же время на станции King Salmon ионограмма не имела ярко выраженных аномалий, что позволило сделать вывод о локальности возмущения ионосферы. Ионограмма станции King Salmon показала критическую частоту 2,11 МГц для слоя E и 3,6 МГц для слоя F2.

С помощью программы VOACAP определили, что промежуточная точка отражения от ионосферы для трассы связи с судном Б при используемых ранее частотах приходится на широту возмущения. Следовательно, предстояло найти такое решение, при котором отражение от ионосферы происходило бы вне возмущенной области, к примеру на широте King Salmon, и одновременно обеспечивалась бы приемлемая напряженность поля в точке приема.

В [5] выполнена оценка влияния неоднородностей ионосферы на работу передающих коротковолновых антенн. В частности, для односкачковых трасс установлено, что наличие даже незначительных положительных градиентов электронной концентрации ведет к увеличению потерь, величина которых определяется типом используемых передающих антенн, т.е. зависит от параметров диаграммы направленности в вертикальной плоскости. Практические выводы, изложенные в [5], способствовали решению проблемы.

На судах для организации КВ-связи используются, как правило, штыревые антенны. Подобные антенны были установлены и на судах, с которыми поддерживалась связь. То есть выбор антенн ограничивался одним типом. В этом случае можно применить частотную зависимость диаграммы направленности. При изменении частоты диаграмма направленности штыревой антенны в вертикальной плоскости трансформируется (рис. 2). Оценив сложившуюся ситуацию, через судно А передали информацию о необходимости увеличить частоту передающей станции судна Б, с тем чтобы ее излучение в вертикальной плоскости происходило в направлении, показанном на рис. 2, после чего связь с судном Б была восстановлена. Наличие Интернета на береговом узле связи обеспечило доступ к необходимым источникам информации, благодаря чему взять под контроль ситуацию удалось в течение получаса.

Неординарность ситуации стимулировала проведение анализа сопутствующих факторов. Описанные события (15 сентября) происходили в обстановке, характеризующейся обычной солнечной активностью, поэтому целесообразно было проанализировать состояние магнитного поля Земли, но использовать при этом не глобальные параметры Kp и Dst, а локальное состояние магнитного поля в секторе Аляски. С этой целью были получены данные сети магнитометров, расположенных на широте наблюдавшегося ионосферного возмущения (рис. 3). Как видно из рисунка, магнитное возмущение имеет ось симметрии в амплитудном распределении по широте. Максимальная амплитуда приходится на станцию Eagle и уменьшается при перемещении точки наблюдения севернее (Fort Yukon) и южнее (Gakona).

Для полноты картины сравнили начальную фазу возмущения магнитного поля Земли на этих же станциях.

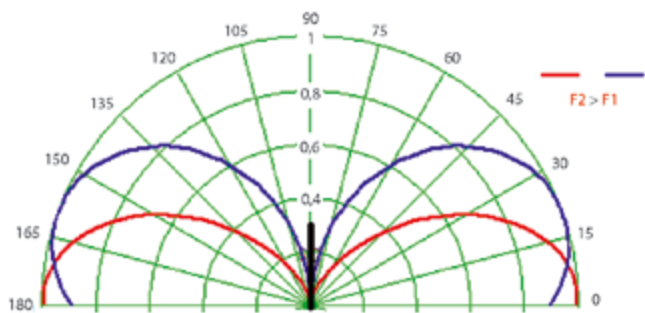


Рис. 2

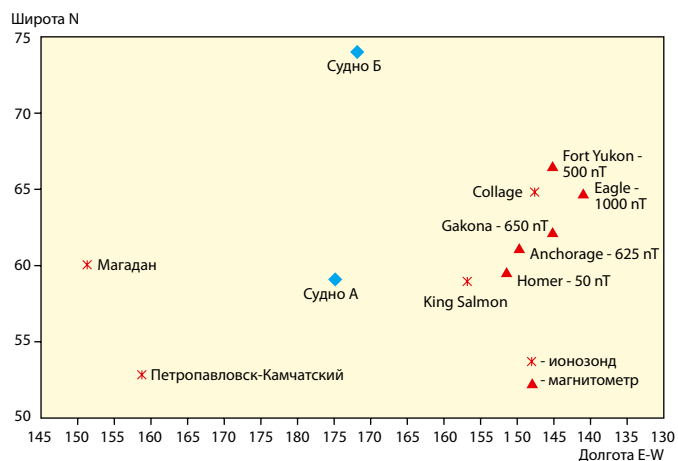


Рис. 3

Оказалось, что для пунктов наблюдения Fort Yukon, Eagle, Poker Flat начальная фаза возмущения положительная, а для Gakona, Anchorage, Homer — отрицательная. Таким образом, не только амплитуда, но и фаза возмущения имеют симметрию относительно широты приблизительно 62—64° N. Если исходить из современных представлений о механизме развития магнитных бурь [6] и распределения возмущения магнитного поля относительно тока в электроджете [7], то максимум вариаций токовой структуры электроджета будет соответствовать местоположению максимума вариаций магнитного поля Земли. Как показано на рис. 3, максимум вариаций магнитного поля Земли приходится на широту пункта, где проводятся эксперименты по модификации ионосферы по программе HAARP. Проанализировав распределение амплитуд и фаз в магнитных бурях, имевших место во второй половине 2008 г., мы не смогли обнаружить столь явную их симметрию относительно названного пункта, как это наблюдалось 15—16 сентября 2008 г.

В отличие от программы EISCAT, на сайте HAARP нет информации о проводимых в ее рамках экспериментах. Предусматривает ли программа HAARP активное воздействие, реакция на которое сопоставима с наблюдавшимися нами процессами в ионосфере? В этом контексте следует отметить, что развитие способа, базирующегося на последовательном нагреве плазмы отдельных участков области модификации ионосферы [8], позволило получить новые результаты на основе геометрической модуляции [9]. В случае геометрической модуляции параметры коротковолнового излучения не меняются, но происходит сканирование лучом плоскости электроджета по определенной траектории: круг, линия, пила (circle, line, sawtooth). Меняя скорость и траекторию перемещения луча, можно получить низкочастотное излучение с требуемыми параметрами, при этом эффективность воздействия существенно возрастает [10].

Выводы. Таким образом, анализ показывает, что в случае, если трасса КВ-линий радиосвязи пересекает широты, на которых проводятся эксперименты по модификации ионосферы, возможны сбои в функционировании коротковолновых каналов связи. В этой связи актуальным является развитие в нашей стране сети станций ионосферного зондирования. Эта проблема обсуждалась на XXII Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн» [11]. В частности, отмечалось, что современные технологии, такие, например, как спутниковая томография ионосферы, до сих пор не получили в России широкого применения, поэтому приходится использовать данные станций вертикального зондирования, построенных во второй

половине прошлого века, т. е. в значительной мере устаревших и зачастую выработавших свой ресурс.

Хотелось бы надеяться, что трудности в функционировании отечественной сети ионосферных станций временные и ситуация вскоре изменится. Пока же данные о состоянии магнитного поля Земли и ионосферы для районов Дальнего Востока практически в реальном масштабе времени, как было показано в приведенном нами примере, можно получить на сайтах Японии и США, а следовательно, минимизировать последствия сбоев, вызванных как естественными, так и искусственными факторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сивоконь В. П.** Вариации шумов КВ-диапазона как результат модификации ионосферы//Электросвязь.— 2009.— № 1.— С. 55—58.
2. **Сивоконь В. П., Дружин Г. И.** Геомагнитный фактор Dst-вариаций в селективном возбуждении ионосферных характеристических волн//Геомагнетизм и аэрономия.— 2006.— Т. 46.— № 4.— С. 492—495.
3. **Сивоконь В. П., Дружин Г. И.** Оценка замираний при излучении волн вращающейся поляризации в КВ-диапазоне//Электросвязь.— 2005.— № 10.— С. 8—12.
4. **Альперт Я. Л.** Распространение электромагнитных волн и ионосфера.— М.: Наука, 1972.— 563 с.
5. **Чернов Ю. А.** Влияние неоднородностей ионосферы на работу передающих КВ-антенн//Электросвязь.— 1984.— № 2.— С. 40—45.
6. **Пономарев Е. А.** Механизмы магнитосферных суббурь.— М.: Наука, 1985.— 160 с.
7. **Pirjola R., Viljanen A.** Complex image method for calculating electric and magnetic fields produced by an auroral electrojet of finite length//Annales Geophysicae, 16, P. 1434—1444 (1998).
8. **Barr R., Stubbe P., Rietveld M. T.** ELF wave generation in the ionosphere using pulse modulated HF heating: initial tests of a technique for increasing ELF wave generation efficiency//Annales Geophysicae 17, P. 759—769 (1999).
9. **Cohen M. B., Inan U. S., Golkowski M. A.** Geometric modulation: A more effective method of steerable ELF/VLF wave generation with continuous HF heating of the lower ionosphere//Geophysical research letters, Vol. 35, L12101, doi:10.1029/2008 GL034061, 2008.
10. **Cohen M. B., Inan U. S., Golkowski M. A., and McCarrick M. J.** ELF/VLF wave generation via ionospheric HF heating: Experimental comparison of amplitude modulation, beam painting, and geometric modulation//Journal of geophysical research, Vol. 115, A02302, doi:10.1029/2009 JA014410, 2010.
11. **Авдюшин С. И., Данилкин Н. П., Денисова В. И., Журавлев С. В.** Мониторинг ионосферы на сети отечественных наземных и спутниковых ионозондов в XXI веке//Труды XXII Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн», Т. 1. Ростов-на-Дону, 2008.— С. 17—21.

Автор выражает признательность профессору Н. П. Данилкину за рекомендацию систематизировать полученные автором данные и опубликовать их.

Получено после доработки 30.04.10

Эфирное Цифровое Телевидение в каждый дом!



TGT-100
регенератор
Прием сигнала DVB-T/H,
исправление ошибок
и конвертация в сети
стандарта DVB-T/H



подходит для использования со
встроенными DVB-T/DVB-H тюнерами



MTI-900
трансмодулятор
Прием сигнала
DVB-S/S2 и конвертация
в сети стандарта DVB-T



Специальный приз Первой Национальной Премии в области Многоканального Цифрового Телевидения «Большая Цифра» за активную позицию на Российском рынке.

ООО «ИКУСИ»
МО, г. Мытищи,
ул. Колпакова, д.42, корп.3
+7 495 664 28 47
www.ikuski.ru

Москва
ООО «Юнайтэд Телеком»
+7 495 775 25 13
ООО «ВелаСат»
+7 495 748 03 25
ООО «Мир ТЕЛЕсистем»
+7 495 775 20 40
ООО «НВБШДЕО»
+7 495 980 27 94
ООО «Оптимальные Коммуникации»
+7 495 730 63 63
ООО «ТВ-ГРУП»
+7 495 979 90 49

Санкт-Петербург
ООО «ЭТТ»
+7 812 327 23 23
Волгоград
ООО «Амт»
+7 8442 23 42 22
Красноярск
ООО «Развитие»
+7 391 242 66 68
Астрахань
ИФ «Астрахань-Телефонист»
+7 8512 63 01 71
Владивосток
ООО «Спутник-видео»
+7 4232 94 0000
Иркутск
ООО «Мир Алтеек»
+7 3952 666 750



www.ikuski.com

IKUSI - Ángel Iglesias S.A. - SPAIN Tel.: +34 943 44 88 00 sales.hf@ikuski.com