

Динамика вариаций параметров сигналов радионавигационных станций в ОНЧ диапазоне

Вилыев А. В., Жантаев Ж. Ш., Акбергенов Е. М.

ДТОО Институт ионосферы АО "Национальный центр космических исследований и технологий" г. Алматы, Республика Казахстан
vilayev@gmail.com

Введение. Способность сверхдлинных волн распространяться на значительные расстояния позволяет использовать удаленные передающие радиостанции, работающие в диапазоне очень низких частот 3-30 кГц, для зондирования нижних слоев атмосферы и ионосферных возмущений по трассе распространения сигнала. К настоящему времени накоплен значительный объем данных наблюдений за вариациями распространения радиоволн различной природы в диапазоне очень низких частот (ОНЧ) [1-4 и др.]. Отмечается, что амплитуды сигналов зависят от пространственно-временных изменений плотности электронов в ионосфере, связанных с уровнем солнечной активности, временами года и суток и контролируются для ОНЧ волн параметрами ионосферной области D на высотах 60-80 км. Изменения параметров приземной атмосферы, вызванные прохождением солнечного терминатора, также влияют нахождение сигналов радиолокационных станций дальнего обнаружения [5-6].

Цель настоящей работы состояла в изучении вариаций характеристик сигналов радионавигационных станций в диапазоне очень низких частот, измеренных на годовом временном интервале, и определение их возможной связи с изменениями параметров геомагнитного поля. В работе приводятся результаты анализа записей амплитуды сигналов четырех радионавигационных станций в диапазоне частот 18.2 – 23.4 кГц, полученных в г. Алматы. Анализируются особенности сезонного хода суточных амплитуд от летних месяцев к зимним. Рассматривается амплитудный спектр зарегистрированных сигналов и их связь с вариациями геомагнитного поля по данным геомагнитной обсерватории "Алма-Ата".

Методика эксперимента и обработки данных. В качестве экспериментальных данных использовались 10-секундные записи сигналов радионавигационных станций (табл.) за период с мая 2015 по апрель 2016 гг. в пункте регистрации на территории геомагнитной обсерватории "Алма-Ата", координаты 43.25° N, 76.95° E.

Таблица 1. Станции радионавигации в ОНЧ диапазоне

Частота	Код	Расположение	Широта	Долгота
18.2 кГц	INS	Kattabomman Vijayanarayanan, India	8.387018 N	77.752841 E
22.1 кГц	GBZ	Skelton, UK	54.731929 N	2.883359 W
22.2 кГц	JJI	Ebino, Japan	32.092247 N	130.829095 E
23.4 кГц	DHO38	Rhauderfehn, Germany	53.087341 N	7.608652 E

ОНЧ регистратор [7] имеет активную штыревую мини-антенну, размещенную на высоте 4.5 м, соединенную коаксиальным кабелем с предварительным усилителем; узкополосный частотный фильтр, демодулятор, аналоговый преобразователь с записью оцифрованных значений на персональный компьютер.

Для выявления внутригодовых сезонных изменений суточных вариаций проводилось усреднение амплитуд радиосигналов для каждого часа для всех суток наблюдений по отдельным месяцам. В результате получены формы среднесуточного сигнала за сутки для соответствующего месячного периода. Также рассматривались вариации сигналов, проходящих по разным трассам, однако выявить значимые различия от направления распространения по азимуту не удалось. Для разных передатчиков вариации амплитуды и

формы сигналов оказались идентичными и не зависящими от сезона и времени суток, что, возможно, определяется методикой осреднения. Для выделения более тонких характеристик необходимы дальнейшие исследования.

Изучение динамики спектра частотных вариаций выполнялось по исходным нефитрованным данным методом Фурье по алгоритму БПФ для каждого месяца наблюдений. Для определения сезонных особенностей изменения сигналов сопоставлялись их спектры в летний и зимний периоды года.

Результаты и анализ

Выделены устойчивые сезонные и суточные вариации принимаемых радиосигналов. Суточные изменения амплитуды радиосигнала на частоте 18.2 кГц для передающей радиостанции INS (Индия) представлены на рис. 1. Следует отметить их выраженную асимметрию для летних месяцев с двумя минимумами примерно в 4 ч и в 12 ч UT, обусловленную значительными утренним и вечерним градиентами в изменениях поглощаемой солнечной радиации и резким изменением высоты волновода ионосферной D области [5].

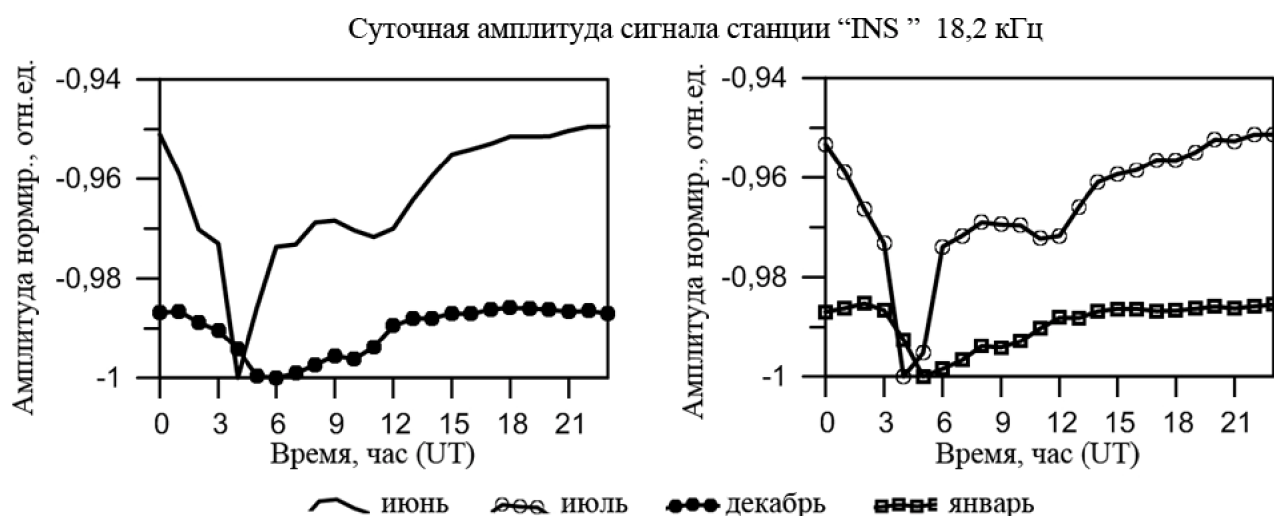


Рис. 1. Среднесуточные значения амплитуды радиосигналов, нормированные на максимум сигнала, в летнее и зимнее время года.

В суточных изменениях амплитуды радиосигнала наблюдается его увеличение в ночное время для летних месяцев в 1.9 раза, для зимних месяцев – в 1.2 раза.

Слабая выраженность утреннего суточного минимума амплитуды сигнала и временной сдвиг его относительно летнего в 1.5-2 часа объясняется понижением вертикального градиента в распределении электронной концентрации нижней ионосферы вследствие уменьшения зенитного угла Солнца от летних месяцев к зимним [3]. Вечерний минимум зимой практически не наблюдается.

Динамика сезонных суточных вариаций радиосигналов представлена на рис 2. Обнаруживается тенденция повышения уровня сигнала в зимние месяцы по сравнению с летними. Это может быть связано с уменьшением эффективности ионизации D области ионосферы от июня к декабрю [3], что приводит к уменьшению коэффициента затухания радиоволн рассматриваемого диапазона в 1.3 раза.

Спектральный состав возмущений амплитуд ОНЧ радиосигналов сопоставлялся с вариациями геомагнитного поля по данным геомагнитной обсерватории "Алма-Ата" сети "INTERMAGNET". На рис. 3 представлены записи сигналов радиостанций GBZ на частоте 22.1 кГц и ДНО38 на частоте 23.4 кГц, нижняя кривая – вариация вертикальной компоненты геомагнитного поля за период май 2015 г. Отмечается синхронизация в вариациях амплитуды регистрируемых сигналов передающих станций.

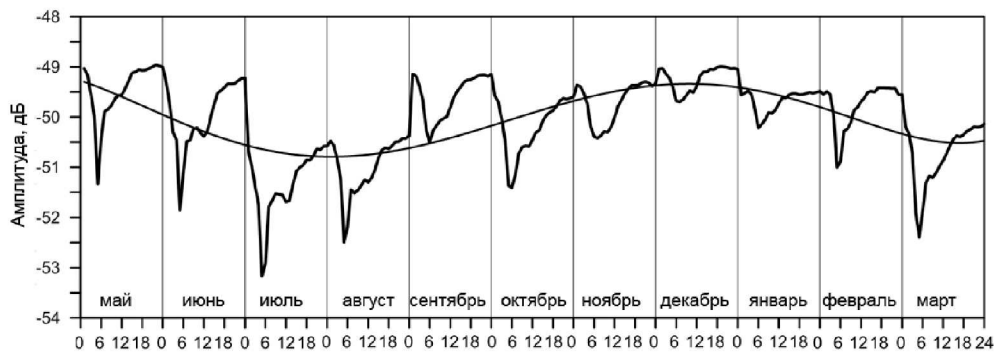


Рис. 2. Сезонное изменение амплитуды среднесуточного сигнала 18.2 кГц радиостанции INS, Индия

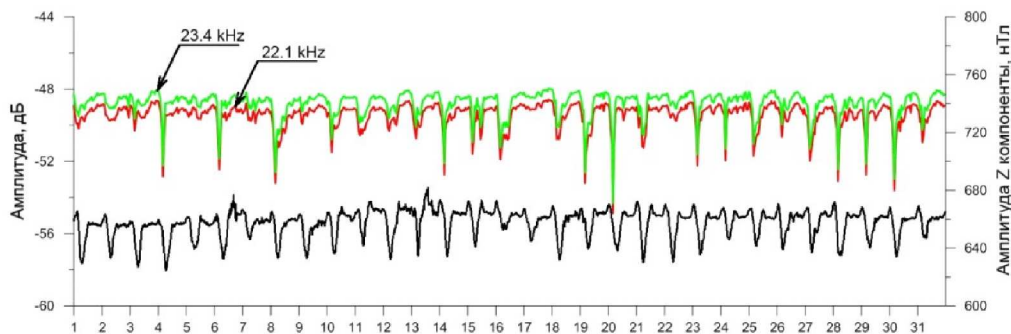


Рис. 3. Вариации в записях амплитуд ОНЧ сигналов и геомагнитного поля в мае 2015 г.

Результаты спектрального анализа показывают, что в изменениях уровня ОНЧ сигнала, как в летние, так и в зимние месяцы, присутствуют одинаковые гармоники с близкими периодами, наблюдаемые также в вариациях геомагнитного поля (рис. 4). Амплитуды спектральных гармоник вариаций в зимние месяцы примерно в пять раз ниже аналогичных гармоник для летнего времени года, что может быть обусловлено сезонным уменьшением ионизации D области ионосферы.

В диапазоне периодов от первых часов до 30 ч выделены пики ОНЧ сигнала на периодах 1464.7 минут (24.4 ч), 1417.4 мин. (23.6 ч), 720.3 мин. (12 ч), 482.9 мин. (8 ч) и 360.2 мин. (6 ч). В спектре вариаций вертикальной компоненты геомагнитного поля в рассматриваемом диапазоне периодов присутствуют гармоники с периодами 1456.4 мин. (24.3 ч), 1424.7 мин. (23.7 ч), 720.2 мин. (12 ч), 481.9 мин. (8 ч).

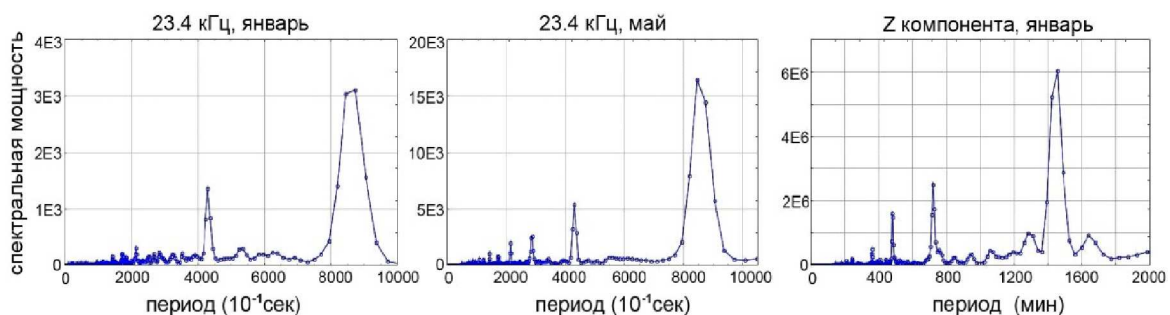


Рис. 4. Спектры мощности вариаций ОНЧ сигнала на частоте 23.4 кГц и вариаций Z компоненты магнитного поля.

Два максимума в суточной периодичности, выделенные в вариациях ОНЧ сигнала на периодах 1464 и 1417 мин. и в вариациях Z компоненты геомагнитного поля (1456 мин

и 1424 мин.), могут быть обусловлены наложением комбинационных частот при нелинейном взаимодействии двух близких по частоте физических процессов в ионосфере Земли. Экспериментально и теоретически показано [1], что в спектрах ОНЧ шумов имеются максимумы, которые совпадают с суточными периодами вращения Земли относительно Солнца (1440 мин) и относительно звезд (1436 мин). Можно предположить, что в зарегистрированных изменениях сигналов ОНЧ излучений проявляется влияние на область D ионосферы рентгеновского излучения Солнца и галактических рентгеновских источников.

Заключение

В суточных вариациях регистрируемых ОНЧ сигналов от радионавигационных станций в диапазоне частот 18.2, 22.1, 22.2, 23.4 кГц выделена их асимметрия для летних месяцев с двумя минимумами амплитуды в 4 и 12 ч UT. Такая асимметрия может быть обусловлена эффектами увеличения утреннего и вечернего градиентов поглощаемой солнечной радиации и резкими изменениями высоты волновода ионосферной D области. В течение суток наблюдается увеличение амплитуды сигнала в ночное время для летних месяцев в 1.9 раза, для зимних месяцев – в 1.2 раза.

Понижение градиента электронной концентрации в нижней ионосфере вследствие уменьшения зенитного угла Солнца от лета к зиме обуславливает слабую выраженность утреннего суточного минимума амплитуды сигнала и его временной сдвиг в 1.5-2 часа относительно летнего минимума. Вечерний минимум зимой практически не наблюдается.

Обнаружена тенденция повышения амплитуды сигнала в зимние месяцы по сравнению с амплитудами в летние месяцы, связанная с уменьшением эффективности ионизации D области ионосферы от июня к декабрю, что приводит к уменьшению коэффициента затухания радиоволн рассматриваемого диапазона в 1.3 раза.

Выделены два максимума в суточных вариациях ОНЧ сигнала на периодах 1464 и 1417 мин. и в вариациях Z компоненты геомагнитного поля (1456 мин. и 1424 мин.), которые могут быть комбинационными частотами при нелинейном взаимодействии области D ионосферы, рентгеновского излучения Солнца и галактических рентгеновских источников.

Литература

1. Дружин Г.И. Суточные периоды в ОНЧ излучении и связь их с рентгеновским излучением // Международный научно-исследовательский журнал. - 2015. - № 8(39). - С. 98-100.
2. Дружин Г.И., Мельников А.Н., Чернева Н.В. Проявление суточных периодов Земли в ОНЧ-излучениях // ДАН. - 2014. - Т. 457. - № 1. - С. 92-94.
3. Каримов Р.Р., Козлов В.И., Корсаков А.А., Муллаяров В.А., Мельчинов В.П. Вариации параметров сигналов радионавигационных станций, регистрируемых в Якутске в диапазоне очень низких частот // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2012. - Т. 9. - № 4. - С. 57-62.
4. Каримов Р.Р., Муллаяров В.А., Козлов В.И. Исследование связи долгопериодных вариаций интенсивности ОНЧ-шумов грозовой природы с вариациями плотности солнечного ветра // Вестник ЯГУ. – 2006. – Т. 3. - № 2. – С.27-31.
5. Сомсиков В.М. Солнечный терминатор и динамика атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1983. - 192 с.
6. Сомсиков В. М., Андреев А. Б., Жумабаев Б. Т., Соколова О. И. Анализ суточной динамики спектра вариаций геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. - 2011. - Т. 51. - № 1. - С. 68–72.
7. <http://www.inflamo.org/technical-background.html>