

**Министерство образования Российской Федерации
Научно-исследовательский радиофизический институт
(НИРФИ)**

**Министерство образования Российской Федерации
Научно-исследовательский радиофизический институт
(НИРФИ)**

Препринт № 481

**Пространственное распределение
поляризации магнитного поля
от контролируемого излучателя
по измерениям
на финской цепочке магнитометров
в УНЧ диапазоне 0.6 – 4.2 Гц**

**Пространственное распределение поляризации
магнитного поля от контролируемого излучателя
по измерениям на финской цепочке магнитометров
в УНЧ диапазоне 0.6 – 4.2 Гц**

**Е.Н. Ермакова
С.В. Поляков
Н. И. Белова
Д.С. Котик
Л.А. Собчаков
Т. Бёзингер**

**Нижний Новгород
2003**

**Нижний Новгород
2003**

Ермакова Е.Н., Поляков С.В., Белова Н.И., Котик Д.С.,
Собчаков Л. А., Бёзингер Т.
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТ КОНТРОЛИРУЕМОГО
ИЗЛУЧАТЕЛЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА ФИНСКОЙ
ЦЕПОЧКЕ МАГНИТОМЕТРОВ В УНЧ ДИАПАЗОНЕ
0.6–4.2 Гц

Препринт № 481. – Нижний Новгород: НИРФИ, 2003. – 17 с.

УДК 550.383

Приведены результаты обработки данных по исследованию поляризации и спектра искусственного УНЧ сигнала от Кольского передатчика. Регистрация сигнала осуществлялась в нескольких приемных пунктах, что позволило протестировать передатчик и выявить влияние ионосферной толщи и подстилающей поверхности на параметры принимаемого УНЧ сигнала. Обнаружена корреляция в изменении спектров сигнала и фонового шума по измерениям за разные периоды наблюдений.

Введение

В работе приведены результаты последних экспериментов (сентябрь, октябрь 2001г.) по генерации ультранизкочастотных (УНЧ, $f < 30$ Гц) электромагнитных полей с использованием управляемого источника в виде заземленной на концах ЛЭП, расположенной на Кольском полуострове.

Ранее подобные эксперименты с Кольским излучателем проводились в 1993 и 1998 гг. (приемные пункты располагались в Карелии, п. Видлица, и в Нижегородской области, п. Новая Жизнь) и была достигнута уверенная регистрация сигнала на расстояниях до 1500 км с накоплением до 10 мин. Описание излучателя, использованного в эксперименте 1993 г., дано в работах [1, 2], где подробно обсуждаются результаты экспериментов по зондированию земной коры в СНЧ диапазоне. В 1998 г. были проведены повторные эксперименты с новой наземной установкой на Кольском полуострове. В работе [3] приведены результаты обработки экспериментов 1993 и 1998 гг. и описание новой радиоустановки, использованной в качестве УНЧ излучателя в экспериментальных исследованиях 1998 г. По результатам экспериментов 1993 и 1998 г.г. было обнаружено, что амплитудно-частотные зависимости и поляризация искусственного УНЧ сигнала сильно различаются в дневное и ночное время, что связано с влиянием анизотропных свойств ионосферы на регистрируемый сигнал. В работе [3] было также показано, что модель анизотропной и неоднородной по высоте ионосферы адекватно описывает амплитудно-частотные зависимости измеренного УНЧ сигнала. В последнем цикле экспериментов 2001г. была задействована та же Кольская установка, но сигнал регистрировался в 10 приемных пунктах с меридиональным разносом в 2700 км, в том числе, на 6 геомагнитных обсерваториях финской цепочки.

Целями эксперимента были тестирование УНЧ излучателя и исследование поляризационных и спектральных особенностей искусственного сигнала на различных расстояниях от излучателя.

Описание эксперимента

В качестве излучателя использовался портативный УНЧ–КНЧ генератор мощностью 50 кВт, подключенный к линии электропередач, протяженностью 108 км, ориентированный в направлении восток–запад. Для измерений магнитного поля УНЧ сигнала использовались высокочувствительные индукционные магнитометры.

Во время эксперимента 2001г. было выполнено четыре различных цикла измерений.

Во время первого цикла передатчик работал по 10 минут на частотах 0.6, 1.2, 2.4, 4.8 Гц (обзорный цикл). Второй и третий циклы были направлены на исследование резонансных свойств ионосферы в частотном диапазоне 0.6 – 4.2 Гц (ночью) и 1.2 – 3.0 Гц (днем) и включали в себя изменения частоты с малым шагом 0.2 и 0.1 Гц, соответственно. Во время третьего цикла установка работала на частоте 4.8 Гц в течение 3-часового периода в ночное время (для накопления сигнала в отдаленных приемных пунктах). Сигнал был зарегистрирован во всех приемных пунктах. Мы приводим результаты обработки данных, полученных за вечерние и ночные часы наблюдений 27.09.01, 01.10.01 и 02.10.01 на финской цепочке магнитометров. В таблице, приведенной ниже, сведены данные о географическом положении всех приемных пунктов, задействованных в эксперименте:

Станция		Геогр. коорд.		Расстояние от передатчика (км)
Название	Код	Шир.	Долг.	
Kevo	KEV	69.7	27.0	300
Kilpisjärvi	KIL	69.0	20.7	540
Ivalo	IVA	68.6	27.4	270
Sodankylä	SOD	67.4	26.5	330
Rovaniemi	ROV	66.6	25.8	450
Oulu	OUL	65.0	25.5	540
Nurmijärvi	NUR	60.5	24.7	1050

Ловозеро	LOV	67,97	35.08	80
Хаутаваара	HAU	62.5	33.5	850
Баренцбург	BAR	78,09	14,21	1200
Новая Жизнь	NEL	55.09	45.67	1550

Обработка сигнала заключалась в построении спектров на временной реализации в 100 с с последующим усреднением на интервале 10 мин. При этом достигалось частотное разрешение ~ 0.01 Гц. При регистрации сигнала измерялись компоненты север–юг, восток–запад. По этим данным строились спектры для двух линейных (С–Ю), (В–З) и для право- и левополяризованных (R и L) компонент магнитного поля.

Обсуждение результатов эксперимента

На Рис. 1 изображен динамический спектр для магнитной компоненты С–Ю искусственного сигнала (станция Ivalo, период наблюдения 27.09.01). Этот спектр наглядно демонстрирует режим работы передатчика, когда рабочая частота менялась каждые 10 мин шагом 0.2 Гц.

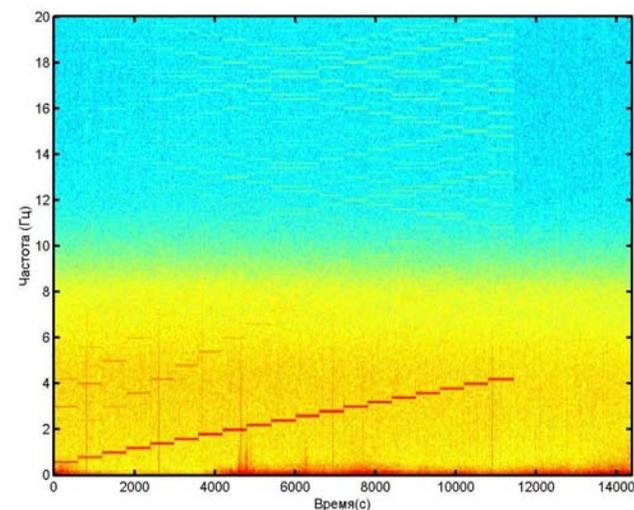


Рис. 1.

На Рис. 2 приведены примеры спектров искусственных УНЧ сигналов, зарегистрированных на разных расстояниях от контролируемого источника, для магнитной компоненты С–Ю по данным двух приемных станций: Ivalo и Kilpisjärvi с расстояниями до источника 270 и 540 км, соответственно.

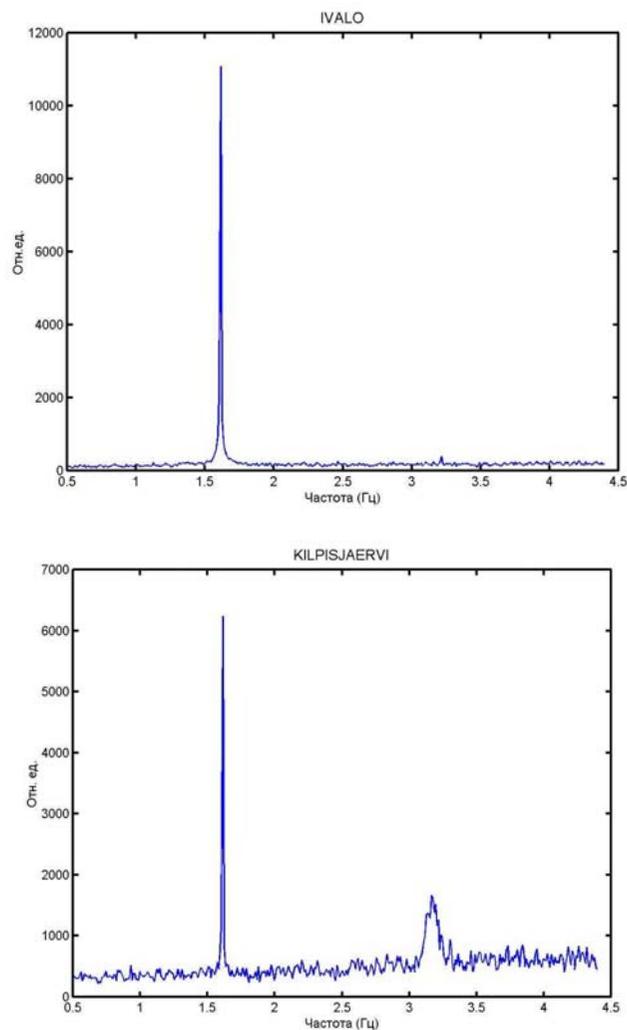


Рис.2

По данным эксперимента были построены и проанализированы амплитудно-частотные зависимости для 4 магнитных компонент сигнала для всех приемных пунктов (Рис. 3, 4). На Рис. 3 изображены спектры для R и L магнитных компонент искусственного УНЧ сигнала в рабочем диапазоне частот (0.6–4.2)Гц. Разными значками обозначены кривые, соответствующие разным периодам наблюдений: (20:00 – 23:00 UT) за 27.09.01 и 01.10.01.

Как видно из рисунка 3, амплитуда сигнала, зарегистрированного на самой ближней станции, слабо зависит от частоты, а особенности в спектре искусственного сигнала, связанные с резонансными свойствами ионосферной толщи, отсутствуют [4].

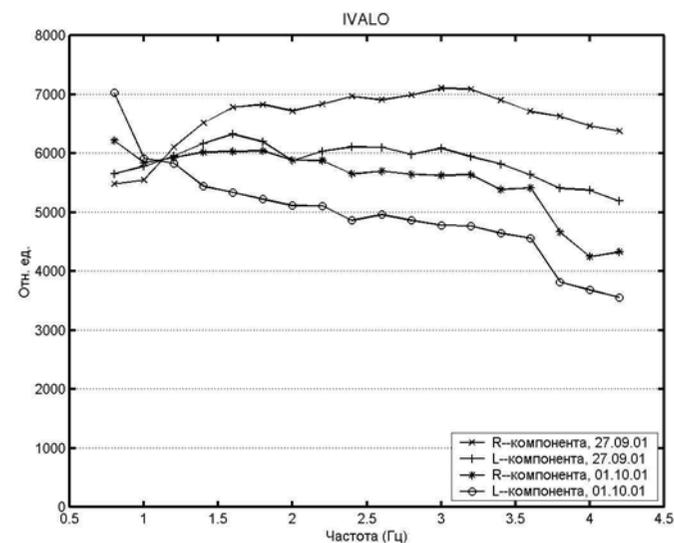


Рис 3.

На Рис.4 изображены кривые частотной зависимости линейных компонент искусственного сигнала для самой дальней от излучателя станции Nurmijärvi для двух разных периодов наблюдения: 27.09.01 – верхний график, 01.10.01 – нижний график. В спектрах сигнала на этой станции также не обнару-

жена резонансная структура, а наблюдаемые вариации связаны с высоким уровнем магнитного шума.

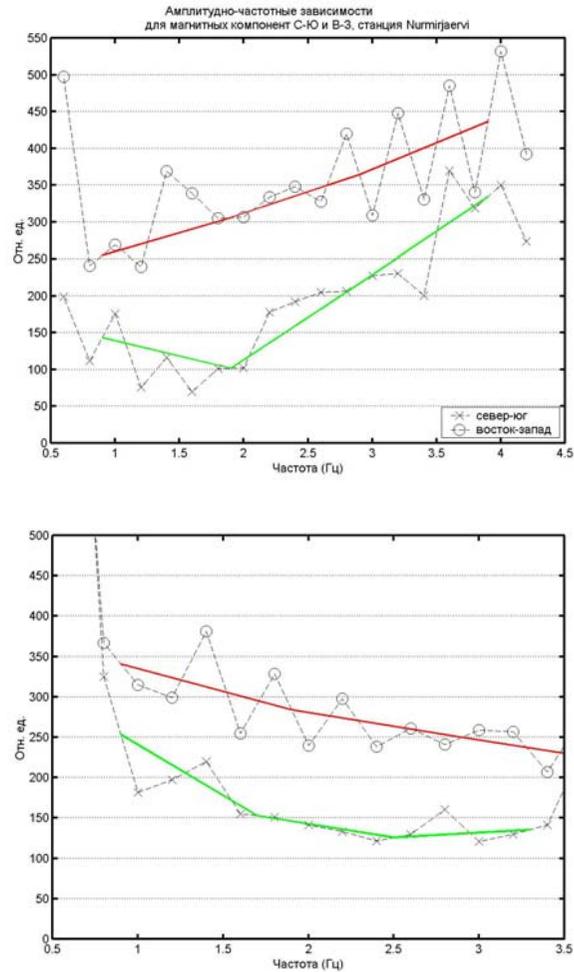


Рис. 4

Отсутствие резонансной структуры может быть связано с максимальной солнечной активностью на период проведения экспериментов [5]. Резонансные особенности не были обнаружены и в спектре фонового шума за те же периоды наблюдений. Для выявления возможного влияния ионосферы на пара-

метры принимаемого сигнала и исследования его поляризации на различных расстояниях от УНЧ передатчика была построена и проанализирована частотная зависимость отношения компонент круговой поляризации H_R/H_L и линейной поляризации H_{C-Y}/H_{B-3} .

На Рис. 5 приведены подобные зависимости для круговых магнитных компонент искусственного сигнала (верхний график) и фонового шума (нижний график) за 27.09.01, 01.10.01 и 02.10.01 для станции Sodankylae.

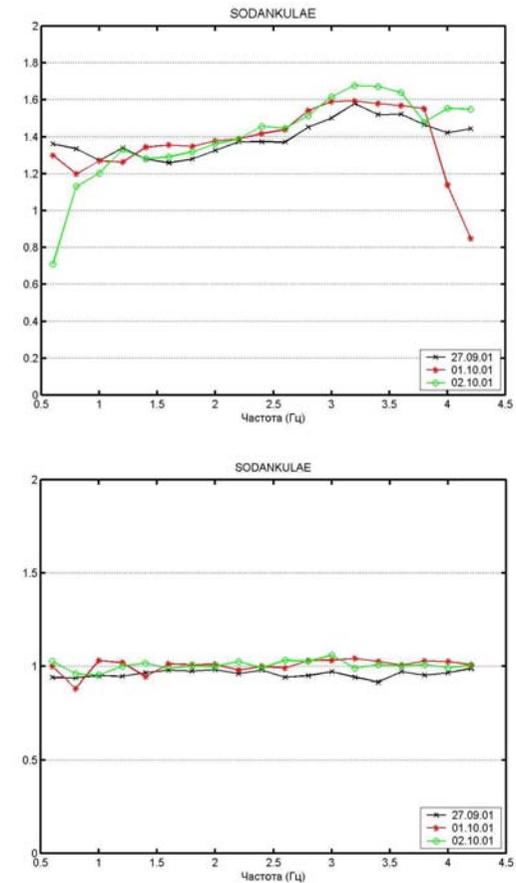


Рис. 5.

Как видно из приведенных кривых, параметр H_R/H_L для УНЧ сигнала отличен от единицы практически во всем рабочем диапазоне частот, что означает преобладание R- или L- поляризации, или эллиптичность поляризации в регистрируемом сигнале. Частотные зависимости параметра H_R/H_L не меняются практически для различных периодов наблюдений. $H_R/H_L \sim 1$ для фонового шума и также слабо зависит от времени регистрации. Анализируя эти кривые, можно сделать вывод, что анизотропия ионосферы практически не влияла на параметры УНЧ сигнала на этих станциях, а наблюдаемая эллиптичность поляризации связана, возможно, с влиянием подстилающей поверхности на излучатель.

На Рис. 6, 7 изображены те же зависимости для более удаленных от источника станций Kilpisjaervi и Nurmijaervi, соответственно. Обнаружена зависимость частотных кривых H_R/H_L для магнитного шума от времени наблюдения. Сравнение частотных зависимостей шума с подобными кривыми для УНЧ сигнала показывает, что существует корреляция для фонового шума и искусственного сигнала в изменении поведения этих кривых в разные периоды наблюдения. Это может быть связано с влиянием локальных анизотропных свойств ионосферы на шум и когерентный сигнал в точке приема. Аномальное (возрастающее с частотой) поведение амплитудной зависимости линейных компонент магнитного поля для Nurmijaervi за 27.09.01 (см. Рис.4) также подтверждает влияние гиротропных свойств ионосферы. 01.10.01 фоновый шум практически не поляризован: $H_R \sim H_L$ (рис.7), а зависимость амплитуды от частоты для компонент когерентного сигнала имеет спадающий характер, что более типично для изотропной ионосферы [3].

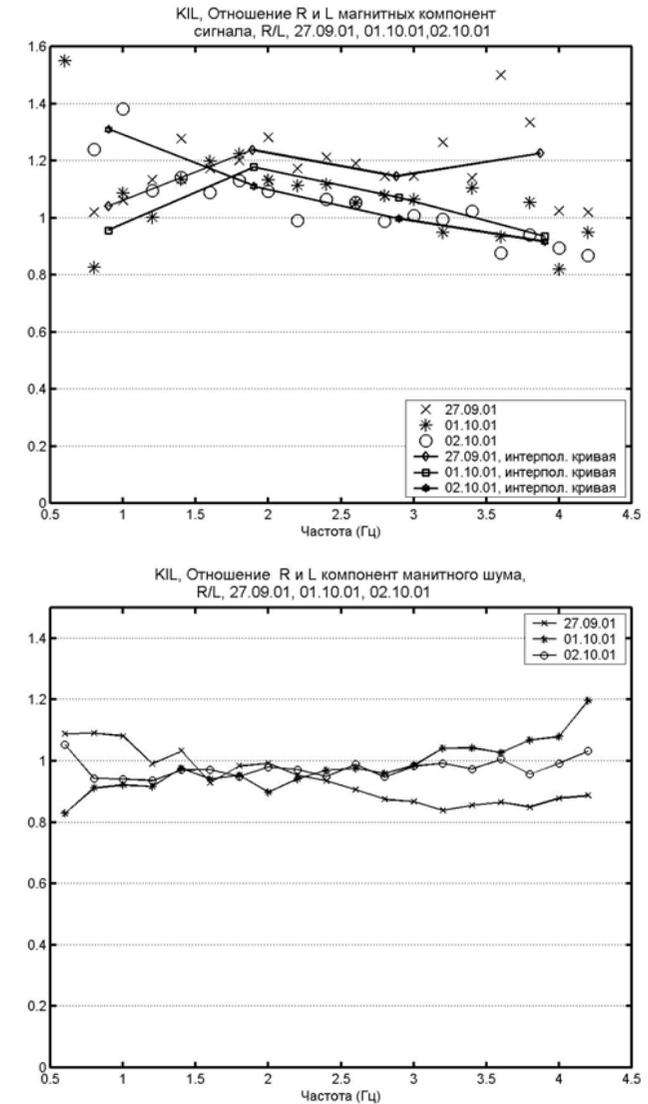
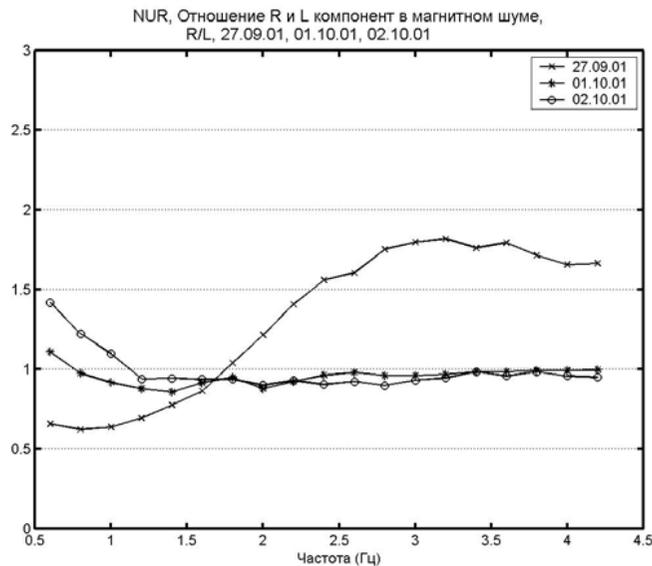
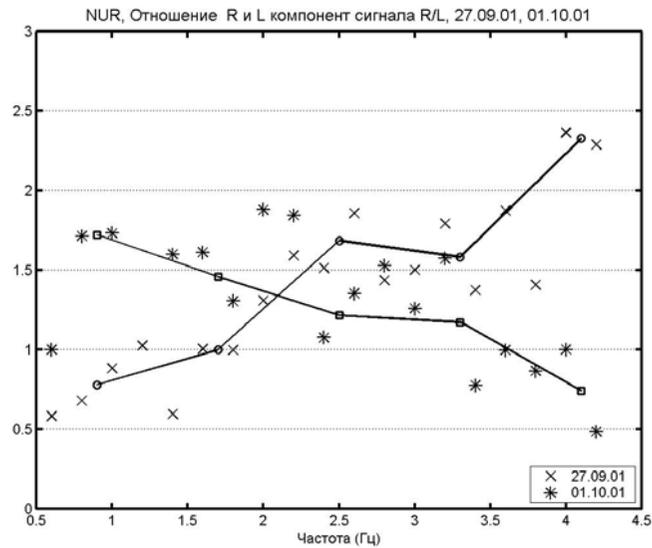


Рис. 6 Частотная зависимость отношения право- и левополяризованной компонент магнитного поля в искусственном сигнале (верхний график, где приведены данные обработки и интерполяционные кривые частотной зависимости, построенные по этим данным), и в фоновом шуме (нижний график) за разные периоды наблюдений для финской станции Kilpisjaervi.



В работе [3] было показано, что модель анизотропной и неоднородной по высоте ионосферы адекватно описывает аномальные амплитудно-частотные зависимости УНЧ сигнала в темное время суток. Изменение поляризации сигнала связано с изменением фазовых набегов для нормальных волн в гиротропной ионосферной плазме.

На рис.8 построена частотная зависимость отношения линейных компонент H_{C-YO}/H_{B-3} искусственного сигнала для трех различных станций Ivalo, Sodankylae и Rovaniemi за разные периоды наблюдений 27.09.01, 01.10.01 и 02.10.01.

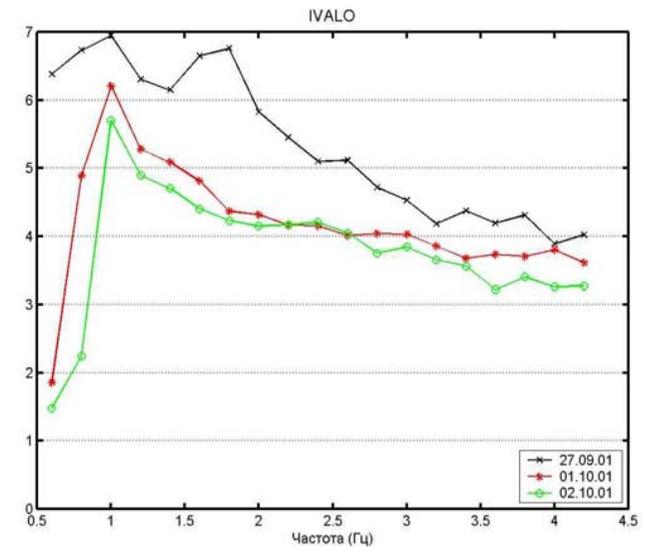


Рис.8а

Рис. 7. Частотная зависимость отношения право- и левополяризованной компонент магнитного поля в искусственном сигнале (верхний график: экспериментальные данные и интерполяционные кривые) и в фоновом шуме (нижний график) за разные периоды наблюдений для финской станции Nurmijaervi.

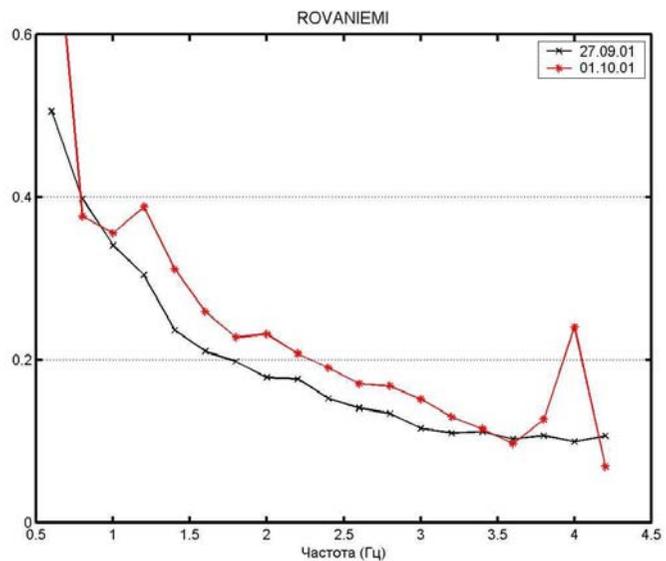
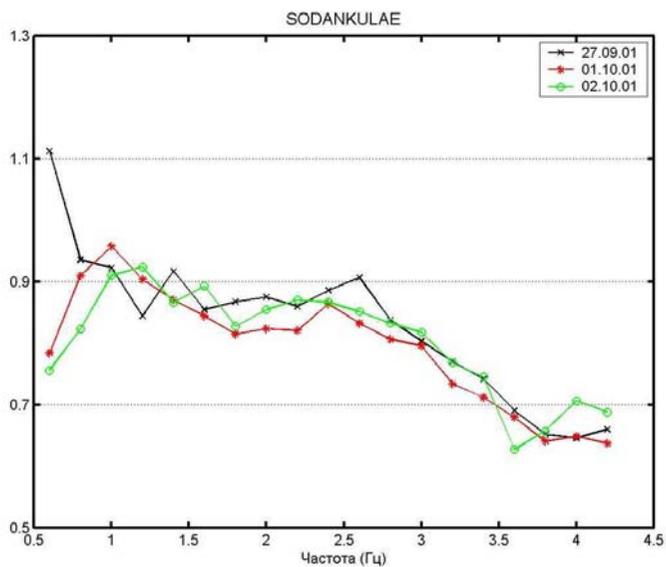


Рис.8 б,с

Выявлена ярко выраженная частотная зависимость отношения линейных компонент $H_{C-Ю}/H_{B-3}$, которая, как правило, имеет спадающий характер, что, по-видимому, связано со сложной структурой самого излучателя и влиянием на него подстилающей поверхности. Кроме того, на Рис.8 видно заметное различие в величине параметра $H_{C-Ю}/H_{B-3}$ для станции Ivalo за 27.09.01 по сравнению с периодами наблюдения 01.10.01 и 02.10.01. Поскольку направление на источник остается неизменным, наблюдаемое различие можно объяснить изменчивостью ионосферных параметров, а следовательно и параметров волновода земля—ионосфера. Влияние ионосферной толщи на УНЧ сигнал позволит использовать контролируемый источник для диагностики параметров ионосферы.

На Рис. 9 изображено пространственное распределение амплитуды магнитного поля сигнала от Кольского передатчика, полученное по измерениям в 5 приемных пунктах: Ловозеро, Ivalo, Sodankulae, Rovaniemi, Nurmijärvi.

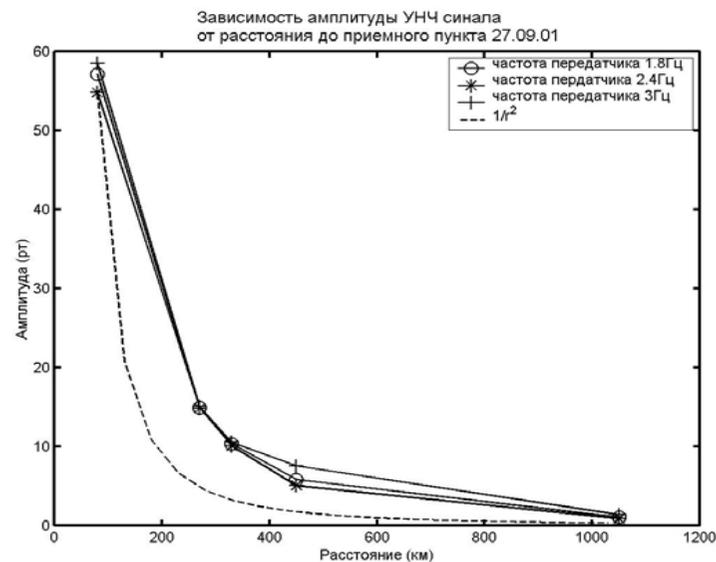


Рис. 9

За период наблюдения 27.09.01 приведены зависимости для трех различных рабочих частот излучателя – 1.8, 2.4 и 3 Гц. Пунктирной кривой изображена теоретическая кривая $\sim 1/r^2$.

Как видно из рисунка, на расстояниях до 1050 км магнитное поле спадает медленнее, чем $1/r^2$, при этом, амплитуда магнитного поля сигнала меняется от 50 рт на ближней станции до 1–2 рт на самой дальней станции. Такие величины магнитного поля и обработка сигнала с накоплением 10 мин. позволяют регистрировать когерентное поле с отношением сигнал/шум от 5 до 20 дБ по амплитуде для приемных станций, расположенных в радиусе ≤ 1050 км от передатчика.

Выводы

Основные результаты экспериментальной кампании 2001г. могут быть сформулированы следующим образом:

1. Искусственный УНЧ сигнал был зарегистрирован на всех 6 обсерваториях финской цепочки с отношением сигнал/шум от 5 до 20 дБ (по амплитуде).
2. Практически во всех приемных пунктах было выявлено преобладание R- или L- поляризации в принимаемом УНЧ поле. Степень эллиптичности колебалась от 10 до 30% на разных станциях.
3. Выявлена ярко выраженная частотная зависимость отношения линейных компонент H_{C-YO}/H_{B-Z} , которая, как правило, имеет спадающий характер. Результаты (2) и (3), по-видимому, связаны со сложной структурой самого излучателя, а также влиянием подстилающей поверхности.
4. Было обнаружено, что частотные зависимости отношения H_R/H_L в диапазоне частот 0.6–4.2 Гц практически не меняются для различных периодов наблюдений для пунктов IVA и SOD (расстояние до источника 270–340 км) и могут значительно изменяться для станций KIL, ROV и NUR. Было обнаружено изменение частотной зависимости для

параметра H_{C-YO}/H_{B-Z} для самой ближней к излучателю станции Ivalo за разные периоды наблюдения. Наблюдаемые поляризационные особенности принимаемого УНЧ сигнала могут быть связаны с изменчивостью ионосферной толщи, являющейся верхней стенкой в волноводе Земля–ионосфера.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 01-02-16742), Минвуза (грант № E00-8.0-44) и Интас (грант № 99-0335).

Литература

1. Велихов Е.П., Жамалетдинов А.А., Собчаков Л.А. и др. // ДАН РАН. 1994. Т. 338, № 1. С. 11.
2. Сараев А.К., Косткин П.М., Ивочкин В.Г. // Физика Земли. 1998. № 7. С. 50.
3. Беляев П. П., Поляков С.В., Ермакова Е.Н., Исаев С.В., Якунин М.Н., Собчаков Л.А., Васильев А.В., Астахова Н.Л., Владимиров Д.Н., Волосевич В.С. и др. // Изв. Вузов. Радиофизика. 2002. Т. 45, № 2. С. 156.
4. Беляев П. П., Поляков С. В., Рапопорт В. О., Трахтенгерц В. Ю. // Изв. вузов. Радиофизика. 1989. Т. 32. С. 663.
5. Belyaev P.P., Polyakov S.V., Ermakova E.N., Isaev S.V. // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2000. V. 62, № 4. P. 239.

Ермакова Елена Николаевна
Поляков Сергей Владимирович
Белова Нина Ивановна
Котик Дмитрий Самойлович
Собчаков Леонид Авраамович
Бёзингер Тильман

Пространственное распределение поляризации магнитного
поля от контролируемого излучателя по измерениям
на финской цепочке магнитометров в УНЧ диапазоне 0.6– 4.2 Гц

Подписано в печать 14.11.02. Формат 60x84/16
Бумага писчая. Объем 1,02 усл.п.л.
Тираж 50. Заказ 5531

Отпечатано в НИРФИ.
603950 Н.Новгород, ул. Б.Печерская, 25