

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУН ИПФ РАН

Академик РАН, д. ф.-м. н., профессор

Литvak A.G.

2014



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Ряховского Ильи Александровича "ГЕНЕРАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ КНЧ/ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИТОСФЕРНО-АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНОЙ СИСТЕМЕ", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29-«Физика атмосферы и гидросфера»"

Диссертационная работа Ряховского И.А. посвящена исследованию параметров КНЧ/ОНЧ излучения, от источников естественного и техногенного происхождения, его распространения в литосферно-атмосферно-ионосферной системе и влияния гелиогеофизических факторов на амплитудно-фазовые характеристики этого излучения.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованной литературы из приложения. Общий объем работы: 120 страниц, включая 5 таблиц и 56 рисунков.

Особенностью диссертационной работы является то, что ее положения основываются на результатах экспериментальных исследований, выполненных в различных географических зонах и различных гелиогеофизических условиях и направленных на изучение параметров излучения как естественных, так и искусственных источников, создание высокочувствительного измерительного комплекса, позволяющего измерять сигналы на уровне единиц фТл, разработку методов пеленгации источников излучения. Все эти исследования выполнялись автором самостоятельно или при его активном участии.

Наиболее значимыми являются следующие результаты:

В ходе исследования взаимосвязанных литосферно-ионосферных явлений в Байкальской рифтовой зоне, автором установлена зона преимущественного проникновения КНЧ/ОНЧ излучения из волновода Земля - ионосфера в магнитосферу

Земли. Особое значение имеют результаты исследования распространения электромагнитного излучения КНЧ/ОНЧ диапазона от ионосферного источника, а именно удаленная регистрация КНЧ/ОНЧ сигналов на расстояниях порядка 2000 км. Автором также показана возможность пеленгации ионосферного источника фазовым методом.

Исследования выполнены автором на высоком уровне с пониманием физических основ исследуемых процессов.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что был разработан и введен в эксплуатацию измерительный комплекс пространственно-распределенной системы радиомониторинга (ПРСР), обладающий рекордно низким уровнем собственных шумов, большим динамическим диапазоном и точностью временных привязок на уровне 30 нс. С его использованием отработана методика пеленгации источников КНЧ/ОНЧ сигналов фазовыми методами, что позволяет в дальнейшем использовать эти источники в качестве инструмента для мониторинга состояния D-слоя ионосферы.

Во введении к диссертации обоснована актуальность темы, сформулированы результаты исследования, имеющие научную новизну и практическую ценность, в явном виде перечислены положения, выносимые соискателем на защиту.

Первая глава носит обзорный характер. Автором рассмотрены основные естественные и техногенные источники КНЧ/ОНЧ излучения. Особое внимание уделено экспериментам по искусственной модификации ионосферы на нагревных стендах. Описаны основные модели волноводного распространения КНЧ/ОНЧ излучения. Рассмотрены основные наземные и орбитальные системы регистрации сигналов КНЧ/ОНЧ диапазона.

Вторая глава посвящена детальному описанию измерительной аппаратуры, методикам измерений и обработки данных. В этом разделе рассмотрены параметры созданного комплекса пространственно распределенной системы регистрации (ПРСР). Описаны характеристики индукционных магнитометров MFS-07 фирмы Metronix и манометрических комплексов «Вистлер» и «Плутон», созданных специально для проведения исследований сверхслабых электромагнитных сигналов. Чувствительность аппаратуры, используемой в данной работе не уступает западным аналогам. В главе рассмотрен вопрос обработки измерительной информации, описана методика обработки данных в математической среде MatLab.

Третья глава посвящена изучению взаимосвязанных явлений в литосферно-ионосферной системе, поиску возможных литосферных источников электромагнитного излучения КНЧ/ОНЧ диапазона, результатам синхронной регистрации сигналов КНЧ/ОНЧ диапазона наземными и спутниковыми измерительными комплексами в районе

Байкальской рифтовой зоны в 2009 и 2010 годах. Данные исследования позволили установить, что зарегистрированные на Земле и в верхней ионосфере сигналы КНЧ/ОНЧ диапазона имеют общий источник – молниевые разряды. Была обнаружена зона преимущественного проникновения КНЧ/ОНЧ излучения из волновода Земля-ионосфера в верхнюю ионосферу.

В главе анализируются возможности пеленгации импульсных источников КНЧ/ОНЧ излучения. По измерениям, выполненным в Байкальской рифтовой зоне, была продемонстрирована работоспособность методики моноимпульсной пеленгации, были запеленгованы локальные максимумы грозовой активности. Для повышения точности пеленгации импульсных источников КНЧ/ОНЧ излучения была разработана практическая методика пеленгации по времени прихода сигнала на пространственно-распределенных измерительных пунктах.

Четвертая глава посвящена результатам исследования параметров КНЧ/ОНЧ излучения, зарегистрированного на больших расстояниях от ионосферного источника, и влияния гелиогеофизических условий на распространение излучения. Все результаты были получены в ходе трех нагревных кампаний на стенде EISCAT. Разработанная аппаратура и измерительные методики позволили надежно зарегистрировать сверхслабые сигналы КНЧ/ОНЧ диапазона (на уровне единиц фТл) от ионосферного источника на расстоянии порядка 2000 км.

По результатам измерений была построена зависимость поляризации сигналов от ионосферного источника от частоты, которая подтвердила многомодовое волноводное распространение сигналов КНЧ/ОНЧ диапазона от ионосферного источника в диапазоне частот от 0.5 до 6 кГц. В главе исследовано также влияние условий на трассах распространения сигналов на их амплитудно-фазовые характеристики. Разработана методика пеленгации ионосферного источника КНЧ/ОНЧ излучения.

Работа достаточно подробно и ясно излагает как подходы к проводимым исследованиям, так и их результаты. Исследования, проведенные И.А. Ряховским безусловно оцениваются положительно. В то же время, при чтении диссертации отмечены следующие замечания:

1. Название диссертации выглядит слишком общим, больше подходящим для большой монографии на данную тему.
2. Не предложен механизм влияния литосферных процессов на состояние ионосферы.

3. Дисперсия зарегистрированных на спутнике Demeter сигналов типа вистлер позволяет определить, с какого расстояния пришел сферик, однако этого не было сделано.

4. Отсутствует сравнение полученных результатов с результатами других научных организаций, давно ведущих исследования в КНЧ/ОНЧ диапазоне, например ФГБНУ НИРФИ.

5. Имеется некоторая избыточность в приведении рисунков и другого иллюстративного материала. Например, помещенные в диссертации спектрограммы на рисунках 4.1.6-4.1.9 относятся к моментам времени, когда сигналы не были обнаружены. Тем более странно, что названия рисунков начинаются со слов «регистрация».

6. В разделе, посвящённом исследованию поляризации сигналов (стр.80), не определен четко сам примененный термин и ничего не говорится о том, как эта поляризация определялась.

7. В главе 2, посвященной разработке измерительной аппаратуры, не содержится данных о ее калибровке, не приводятся данные о погрешностях измерений. Отсутствует сравнение применяемых магнитометров с аналогичными приборами, используемыми, например, в Полярном геофизическом институте и других организациях, проводящих работы по КНЧ/ОНЧ тематике.

8. В тексте и на графиках, демонстрирующих полученные экспериментальные зависимости, не указаны доверительные интервалы полученных данных, что затрудняет оценку адекватности сделанных на основе их анализа выводов.

9. Ряд использованных в работе названий (Demeter, Metronix) используется то в латинском, то в русском написании, причем зачастую на одной странице.

10. Подрисуночные надписи на многих рисунках не раскрывают их содержания, что затрудняет чтение теста.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Автора отличает высокий профессионализм и глубокое знание предмета исследований.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация Ряховского И.А. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно. Диссертация написана ясным языком, четко структурирована. Основные результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах и доложены на ряде конференций. Работа удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ряховский И.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Материалы диссертации представлены на научном семинаре Отдела геофизической электродинамики ИПФ РАН в г. Нижнем Новгороде 1 октября 2014 г.

Представленный отзыв одобрен.

Отзыв подготовил:

Зав. лабораторией физики молний

ИПФ РАН

к.ф.-м.н.



Шлюгаев Юрий Владимирович

Адрес: 603950, г. Нижний Новгород,

ГСП – 120, ул. Ульянова, 46,

Тел. 88314164802

yshl@mail.ru

Секретарь семинара



Ильин Н.В.