

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию и автореферат Ряховского Ильи Александровича по теме "Генерация и распространение КНЧ/ОНЧ излучения в литосферно-атмосферно-ионосферной системе", подготовленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности - 25.00.29 - "Физика атмосферы и гидросфера".**

Диссертационная работа И.А. Ряховского посвящена исследованию особенностей генерации и распространения КНЧ/ОНЧ излучений от естественных и техногенных источников, разработке методов регистрации сверхслабых электромагнитных сигналов на значительных расстояниях от источника, методам пеленгации, изучению влияния гелиогеофизических условий на распространение ОНЧ/КНЧ сигналов.

Задача является актуальной в связи со спецификой использования этого диапазона для дальней и сверхдальней связи. Несмотря на долгие годы изучения механизмов генерации КНЧ/ОНЧ излучения и влияния условий на трассах распространения на приём излучения, распространяющегося в волноводе Земля-ионосфера, вопрос еще далек от полного решения. Существенное влияние на амплитудно-фазовые характеристики сигналов оказывают стенки волновода, главным образом D слой ионосферы. Изучение влияния условий распространения сигналов в волноводе открывает возможность использования мониторинга КНЧ/ОНЧ излучения для изучения D-слоя ионосферы, трудно доступном для других методов исследования.

Выбор направления исследований обоснован анализом результатов выполненных ранее работ по изучению электромагнитных явлений, связанных с возмущениями с литосферно-ионосферной системе, и исследований по распространению электромагнитных сигналов от наземных и ионосферных источников.

Рассмотренные в первом разделе диссертации результаты многочисленных экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению параметров КНЧ/ОНЧ излучения от естественных и техногенных источников, позволило автору выделить основные направления исследований, реализованные в ходе данной работы.

Во втором разделе описана созданная при участии автора измерительная аппаратура. Эта аппаратура обладает рекордной чувствительностью и низким уровнем шумов, что позволяет говорить о том, что она находится на уровне или превосходит лучшие мировые разработки. Использование данной аппаратуры позволило зарегистрировать сверхслабые КНЧ/ОНЧ сигналы с амплитудами порядка единиц фТл. В разделе описана методика измерений и обработки данных.

**В третьем разделе** приведены результаты синхронных измерений электромагнитных сигналов КНЧ/ОНЧ диапазона в Байкальской рифтовой зоне, в ходе которых было установлено, что источником сигналов КНЧ/ОНЧ диапазона синхронно зарегистрированных на Земле и в ионосфере являются молниевые разряды. В результате обработки большого объема спутниковых данных автором была обнаружена зона преимущественного проникновения КНЧ/ОНЧ излучения из волновода Земля-ионосфера в верхнюю ионосферу. Показана возможность пеленгации импульсных источников КНЧ/ОНЧ излучения и даны примеры пеленгации областей локальной грозовой активности.

**В четвертом разделе** диссертации представлены результаты исследования распространения электромагнитного излучения КНЧ/ОНЧ диапазона от ионосферного источника. Данные исследования проводились во время экспериментов по искусственной модификации ионосферы на норвежском стенде EISCAT. В ходе экспериментов удалось зарегистрировать сверхслабые сигналы в частотном диапазоне от 0.5 до 6 кГц с амплитудами порядка единиц фТл на расстоянии до 2000 км от источника. Анализ принятых сигналов позволил исследовать зависимость поляризации принятых сигналов от частоты и экспериментально подтвердить существующие модели многомодового распространения сигналов КНЧ/ОНЧ диапазона от ионосферного источника.

Особенно важными являются результаты синхронных измерений сигналов КНЧ/ОНЧ диапазона от ионосферного источника в пространственно разнесенных измерительных пунктах. Данные исследования показали сильное влияние условий на трассе на амплитудно-фазовые характеристики сигналов. К достижениям автора следует отнести разработанную методику пеленгации ионосферных источников на коротких базах.

**Рассмотрим положения, вынесенные на защиту.** Их четыре. Первое положение представляет результаты исследований в Байкальской рифтовой зоне, в ходе которых обнаружена область аномального распространения КНЧ излучения из волновода Земля-ионосфера в верхнюю ионосферу, причем показано, что зарегистрированные на Земле и в верхней ионосфере сигналы КНЧ/ОНЧ диапазона имеют общий источник генерации – молниевые разряды. Второе положение констатирует достижение в разработке аппаратуры и методики регистрации сверхслабых сигналов (единицы фТл), что является нетривиальной задачей. Экспериментально показана возможность регистрации таких сигналов на расстоянии до 2000 км от источника. Положение три демонстрирует важный результат работы по исследованию поляризационных характеристик сигналов КНЧ/ОНЧ сигналов, распространяющихся в волноводе от ионосферного источника. Разработка

методики пеленгации ионосферных источников КНЧ/ОНЧ излучения в условиях воздействия гелиогеофизических факторов на фазовые характеристики сигналов является содержанием четвертого положения.

В целом работа производит хорошее впечатление, хотя и не свободна от отдельных недостатков. В тексте имеется опечатки и отдельные неточности. Имеются повторы. Подрисуночные надписи не всегда достаточно полно описывают содержание рисунков.

К более существенным недостаткам можно отнести следующие:

1. Анализ влияния гелиогеофизических условий на генерацию и распространение ОНЧ/КНЧ сигналов носит явно ограниченный характер. Если в отношение источника излучения это может быть отнесено к трудности получения измерительных данных в области источника, то привлечение дополнительных данных при исследовании трасс распространения сигнала было бы крайне желательно.

2. Не рассмотрены и не проанализированы данные по распространению в верхнюю ионосферу сигналов низких частот при других экспериментах с участием спутника Demeter. Проведение такого анализа могло бы помочь при рассмотрении механизмов проникновения ОНЧ/КНЧ сигналов в верхнюю ионосферу.

3. В главе, посвященной использованной в измерениях научной аппаратуре, не содержится анализа ее точностных характеристик. Нет данных об ошибках измерений и в разделах, посвященных анализу измерительной информации.

Отдельные критические замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертации. Оценивая диссертацию в целом, отметим, что в работе получен ряд новых оригинальных результатов и положений, которые можно квалифицировать как значительные достижения, имеющие существенное значение для разработки и внедрения методов исследования распространения КНЧ/ОНЧ излучения от естественных и техногенных источников. Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. Использование результатов диссертации при проведении исследований взаимосвязанных электромагнитных явлений в литосфере, атмосфере и ионосфере может способствовать значительному совершенствованию применяемых методов измерений и анализа их результатов. Автореферат диссертации вполне отражает ее содержание.

Результаты работы достаточно полно отражены в публикациях и обсуждены на научных конференциях.

Работа содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Диссертационная работа Ряховского Ильи Александровича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук "Генерация и распространение КНЧ/ОНЧ излучения в литосферно-атмосферно-ионосферной системе" соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения этой степени по заявленной научной специальности.

Оппонент согласен на включение и дальнейшую обработку своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета.

Заместитель директора ИЗМИРАН,

Заведующий отделом ионосферы и распространения радиоволн,

д. ф-м. н., профессор

/Ружин Ю.Я./

