

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу 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 гидросферы.

Генерация и распространение электромагнитного излучения КНЧ/ОНЧ диапазонов в литосферно-атмосферно-ионосферной системе является актуальной научной темой, в настоящее время недостаточно изученной как с экспериментальной, так и с теоретической стороны. При этом ее высокая практическая значимость связана с задачами приема-передачи КНЧ/ОНЧ сигналов на большие расстояния, а также с возможностями создания новых средств мониторинга состояния D-слоя ионосферы и изучения процессов, происходящих в системе взаимодействующих геосферных слоев в целом.

Диссертационная работа Ряховского И. А. посвящена экспериментальному исследованию КНЧ/ОНЧ излучения от естественных и техногенных источников. Целью работы является определение параметров этого излучения, рассмотрение особенностей его распространения в литосферно-атмосферно-ионосферной системе и влияния гелиофеофизических факторов на амплитудно-фазовые характеристики излучения. Изучаются три основных процесса: генерация излучения естественными и техногенными источниками, распространение излучения в волноводе Земля-ионосфера с учетом влияния гелиофеофизических факторов, а также его проникновение в верхнюю ионосферу. В работе осуществлено усовершенствование средств регистрации и обработки данных и на этой основе в 2009-2013 г.г. проведено по нескольку серий экспериментов различной тематики: по исследованию связи между КНЧ/ОНЧ излучением на поверхности Земли и в ионосфере в Байкальской рифтовой зоне; по дальнему приему КНЧ/ОНЧ излучения, сгенерированного в ионосфере нагревным стендом EISCAT; по пеленгации и локализации естественных и техногенных источников излучения.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы и приложения.

Во **введении** обосновывается актуальность исследуемой проблемы, сформулированы цели и задачи работы, положения, выносимые на защиту, новизна результатов, полученных в диссертации, их практическая значимость, реализация и аprobация, описана структура работы.

В **первой главе** проведен обзор экспериментальных и теоретических работ посвященных изучению параметров КНЧ/ОНЧ излучения от естественных и техногенных источников.

Во **второй главе** детально описаны измерительные магнитометрические комплексы, созданные при активном участии автора. Важным фактором проведения экспериментальных исследований являлось создание высокочувствительной измерительной аппаратуры. Реализованные в этой аппаратуре точные временные привязки позволили проводить синхронные измерения вариаций электромагнитных полей КНЧ/ОНЧ диапазона в нескольких пространственно-разнесенных измерительных пунктах. Большой динамический диапазон и высокая чувствительность позволили регистрировать сверхслабые сигналы на больших расстояниях от источника. Предложенные автором методики измерения и обработки данных позволили зарегистрировать сигналы с амплитудой в единицы фТл на фоне естественных и техногенных шумов.

В **третьей главе** описаны результаты экспериментальных исследований по выявлению литосферно-ионосферных связей в Байкальской рифтовой зоне. Работы проводились при активном участии автора. В ходе этих исследований было экспериментально установлено, что сигналы, регистрируемые на Земле и в ионосфере, имеют общий источник — молниевые разряды. По их результатам впервые была проведена попытка обнаружить зону преимущественного проникновения КНЧ/ОНЧ излучения в верхнюю ионосферу.

Наиболее яркий результат третьей главы — четкая идентификация сигналов, прошедших через ионосферу, основанная на сопоставлении спектrogramм наземного и

ионосферного приема. Точное совпадение времен начала импульсов позволяет уверенно их идентифицировать, несмотря на то, что спектр прошедшего сигнала совершенно меняется. Создание карты зоны преимущественного проникновения КНЧ/ОНЧ излучения от молниевых разрядов в ионосферу Земли для области Байкальского рифта (2009-2010) — безусловно, новый и интересный результат, но, к сожалению, он не был доведен до завершения, т.к. необходимо было учесть также карту грозовой активности, а точных данных по грозовой активности на тот момент получить не удалось. Предложенный автором в 2013 г. (п.3.2.) метод локализации атмосферных разрядов по синхронным измерениям в трех точках проявил высокую точность и стабильность результатов. Он мог бы позволить получить точную карту грозовой активности, необходимую для эксперимента по созданию карты зоны преимущественного проникновения КНЧ/ОНЧ излучения в ионосферу, появись он в распоряжении исследователей на несколько лет раньше. Остается пожелать автору преодолеть технические трудности, связанные с тем, что спутник Demeter закончил измерения в декабре 2010 г., и найти возможности для проведения нового эксперимента.

В заключительной **четвертой главе** описаны результаты экспериментальных исследований параметров КНЧ/ОНЧ излучения, генерируемого во время экспериментов по искусственной модификации ионосферы. Исследования проводились на нагревном стенде EISCAT. В результате серии экспериментов была осуществлена регистрация КНЧ/ОНЧ излучения в диапазоне от 0.5 до 6 кГц на расстоянии порядка 2000 км от ионосферного источника. Полученные результаты позволили экспериментально подтвердить модели многомодового распространения этого излучения от ионосферного источника в волноводе Земля-ионосфера. Анализ синхронных измерений излучения от ионосферного источника позволил сделать вывод о сильном влиянии условий на трассе на амплитудно-фазовые характеристики сигналов. Этот результат позволил разработать методику пеленгации ионосферного источника КНЧ/ОНЧ излучения фазовыми методами на малых базах.

Наиболее существенные выводы диссертант формулирует в заключении. Эти положения достаточно обоснованы в тексте диссертации.

Диссертация не свободна от некоторых недостатков.

1. Обнаружена пара опечаток. На с. 38: «Запись на спутнике велась с 3:26 UT, и имела длительность составляла 200 сек.». Очевидно, при редактуре оставлено лишнее слово. На с. 59: «Применение метода моноимпульсной пеленгации позволяет определить положение источника». Из контекста очевидно, что имелся в виду азимут источника.
2. Рисунки не всегда достаточно оформлены. В пункте 1.1. на двух рисунках не указаны единицы измерения изображаемых величин. На рис. 3.1.9 неясно, что изображено на левой и правой частях рисунка (день-ночь?). Пары рисунков 3.1.3-3.1.4 и 3.1.7-3.1.8 гораздо лучше иллюстрировали бы четкую синхронизацию спектрограмм наземного и спутникового приема сигналов, если бы спектрограммы обоих вариантов приема были расположены друг под другом на одной странице, как это сделано на рис. 3.1.5.
3. Листинг программы в приложении явно излишен, он ничего не добавляет к пониманию содержания работы.
4. С. 34. Не указано какого-либо обоснования выбора оконной функции Ханнинга среди множества возможных вариантов.
5. Хотелось бы видеть более развернутое сопоставление результатов эксперимента с теоретическими моделями. Впрочем, это, возможно, выходит за рамки задач, поставленных автором в данной работе.

Отмеченные недостатки не являются существенными и ни ком образом не умаляют существа полученных автором результатов.

Работа выполнена на высоком научном уровне. Материал изложен четко и грамотно. Новизна результатов определяется тем, что часть экспериментов была проведена впервые. Достоверность полученных результатов обеспечивается большим объемом экспериментальных данных, полученных с использованием апробированных методик измерений, регистрации и обработки сигналов, тщательном анализе имеющихся

данных, сопоставлением полученных данных с опубликованными материалами и существующими представлениями, результатами численных расчетов и аналитическими оценками. Работа прошла апробацию. Результаты работы достаточно полно отражены в публикациях в журналах и сборниках и были обсуждены на научном семинаре ИДГ РАН, на российских и международных научных конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Ряховского Ильи Александровича "Генерация и распространение КНЧ/ОНЧ излучения в литосферно-атмосферно-ионосферной системе" выполнена по актуальной теме, имеет высокую научную и практическую значимость, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени по специальности 25.00.29 — физика атмосферы и гидросфера.

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

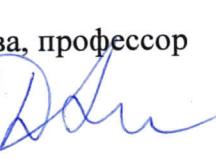
Официальный оппонент: кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры физики атмосферы физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова,

 И.А. Нестеров

Подпись И.А.Нестерова заверяю.

Декан физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, профессор



 Н.Н. Сысоев