

УТВЕРЖДАЮ
Начальник ФГКУ «12 ЦНИИ»
Минобороны России
доктор технических наук



В.М. Чипко

«18» августа 2022 г.

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Гончарова Егора Сергеевича
«Трехмерные численные модели Шумановского резонанса
для исследования нижней ионосферы»,**

представленной на соискание ученой степени

**кандидата физико-математических наук, по специальности 25.0029 –
«Физика атмосферы и гидросферы»**

В диссертации исследуются вопросы, связанные с разработкой моделей численного расчета волнового распространения КНЧ-ОНЧ радиоволн в ионосферной плазме, методик анализа экспериментальных характеристик радиоволн КНЧ радиодиапазона применительно к исследованию нижней ионосферы.

Исследование распространения радиоволн КНЧ диапазона началось после 50-х годов и к настоящему времени привело к созданию достаточно большого количества 2-D и 3-D численных моделей, описывающих распространение радиоволн в волноводе Земля-ионосфера. Основные проблемы, связанные с разработкой таких моделей, обусловлены большой разницей между длиной волны в волноводе (~ радиуса Земли) и характерным масштабом изменения свойств в подстилающей поверхности и нижней ионосфере, которые могут иметь порядок единиц километров. Указанные обстоятельства приводят к необходимости отказаться от трассового приближения и требуют существенного изменения размеров расчетной сетки на границах волновода, что в сочетании с необходимостью использования неортогональные ячейки, вызывает существенные проблемы при создании адекватных расчетных моделей.

Научная новизна работы заключается в предложении использовать сопоставление расчетных и экспериментальных данных по определению низкочастотных резонансных частот волновода Земля-ионосфера (Шумановских резонансов) для тестирования глобальных физических моделей нижней ионосферы.

Практическая значимость исследований заключается в попытке разработки инструментария для расчета и обработки экспериментальных характеристик КНЧ спектра для накопления экспериментальных данных по регистрации частот Шумановских резонансов и применения этих данных для тестирования теоретических моделей нижней ионосферы.

Подтверждение теоретических положений основано автором на интерпретации данных, полученных при помощи разработанных численных электродинамических моделей, а также средств обработки и анализа экспериментальных данных для измерения характеристик радиоволн в КНЧ диапазоне.

Основными результатами, которые можно рассматривать как наиболее значимые, являются:

1. Разработка трехмерной конечно-разностной схемы для расчета распространения ЭМ волн в трехмерно анизотропной многокомпонентной ионосфере Земли.

2. Получены эмпирические соотношения между изменением собственных частот Шумановских резонансов и интенсивностью солнечной рентгеновской вспышки.

3. Предложено применение вероятностного подхода для анализа динамики параметров Шумановских резонансов на различных временных масштабах.

Обоснованность положений и выводов диссертации подтверждается публикациями автора по теме диссертационного исследования в 6 публикациях, индексируемых в Web of Science, Scopus и двух публикациях, индексируемых в РИНЦ.

Вместе с тем, имеются отдельные замечания по содержанию автореферата:

1. В автореферате, как при описании состояния вопроса, так и при интерпретации полученных результатов полностью отсутствуют ссылки на другие работы. Также, отсутствует какое либо сопоставление алгоритмов и возможностей разработанного метода с многочисленными существующими. Кроме того, в автореферате отсутствуют какие либо рисунки или графики, позволяющие говорить о проведении автором 3-D расчетов. В тексте не приведены даже характерные исходные данные для расчетов: размер пространственной сетки, шаг по времени, методы обработки и перечень параметров и компонент из моделей ионосферы и способов их аппроксимации, используемых для подготовки исходных данных расчета, что существенно затрудняет оценку качества созданного 3-D продукта.

2. Практически все использовавшиеся модели показывают наличие сильной зависимости частоты Шумановских резонансов от высоты волновода (например, днем и ночью) и от расположения источника излучения (в каком месте волновода и на каком расстоянии). В автореферате отсутствует четкая методика выбора места расположения источника для расчета распространения излучения, а критерии по которым сопоставляются различные модели ионосферы четко не определены. Поскольку исходные данные для расчета собираются по результатам использования нескольких моделей (например, модели распределения магнитного поля Земли, характеристик подстилающей поверхности и т.д.) возникает вопрос об обоснованности выводов при сопоставлении качества различных моделей ионосферы.

3. Поскольку «численные модели Шумановского резонанса» и «модели численного расчета распространения КНЧ-ОНЧ-НЧ радиоволн» несколько разные вещи, то имеется расхождение между целью работы и ее названием.

Несмотря на перечисленные недостатки, судя по автореферату, диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие их квалифицировать как решение задачи, состоящей в разработке трехмерных численных моделей волнового распространения низкочастотных радиоволн в ионосферной плазме и методик анализа экспериментальных характеристик радиоволн КНЧ радиодиапазона, применительно к исследованию нижней ионосферы.

С учетом вышесказанного диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор Гончаров Егор Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук, по специальности 25.0029 - «Физика атмосферы и гидросферы».

Я, Руденко Виталий Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Ведущий научный сотрудник
кандидат физ.-мат. наук, доцент
ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России,
г. Сергиев Посад, ул. Весенняя, д.2Б,
тел. 8-4965523204, e-mail fgu12tsnii@mil.ru



В.В.Руденко