



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБНУ Полярный
геофизический институт,
доктор физ.-мат. наук

В.Б. Козелов
2021 г.

183010, г. Мурманск, ул. Халтурина,
д.15, ПГИ, телефон (8152) 25-39-58,
факс (8152) 25-35-59,
E-mail: general@pgi.ru
<http://www.pgia.ru>

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Носикова Игоря Анатольевича «Прямой вариационный метод для расчета траекторных характеристик КВ радиотрасс в ионосфере», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика

Диссертационная работа Носикова И.А. посвящена *актуальной проблеме* - разработке методов численного моделирования распространения коротких волн (КВ) в земной ионосферной плазме. Актуальность этой проблемы обусловлена тем, что современные КВ-системы продолжают играть важную роль, несмотря на развитие новых средств связи. Современные КВ-системы по своим основным параметрам вполне могут конкурировать со спутниковыми системами связи, при этом они значительно дешевле последних из упомянутых систем. КВ-системы могут использоваться не только для обеспечения дальней и космической радиосвязи, но и для работы навигационных систем и загоризонтных радиолокаторов, хозяйственное и оборонное значение которых в современных условиях трудно переоценить. Поэтому проблема, решению которой посвящена настоящая работа, актуальна не только с точки зрения науки, но и с точки зрения практики.

Автор формулирует *цель работы* как разработку и реализацию нового подхода к расчету радиотрасс в ионосфере Земли с зафиксированными точками

передатчика и приемника.

Применяемый в диссертационной работе подход к расчету распространения коротких волн в ионосферной плазме действительно является новым, поскольку ранее такой подход использовался, преимущественно, для исследования распространения волн в других средах, в частности, для расчета лучевых траекторий продольных и поперечных сейсмических волн в земной коре.

Для того, чтобы реализовать новый подход к расчету распространения коротких волн в ионосферной плазме, который основан на применении прямого вариационного метода для расчета радиолучей, автору пришлось решать в ходе выполнения диссертационной работы следующие взаимосвязанные *задачи*:

- 1) свести решение исходной краевой задачи к поиску стационарных точек функционала фазового пути радиолуча на основе прямой оптимизации траектории луча, основываясь на вариационном принципе Ферма, согласно которому траектории радиолучей должны удовлетворять условию стационарности фазового пути;
- 2) реализовать метод прямой оптимизации траектории радиолуча в модельной ионосфере в виде комплекса программ, основываясь на опыте применения вариационных методов в различных областях науки;
- 3) разработать и реализовать методы и алгоритмы для отыскания траекторий радиолучей, а также для решения проблем выбора начального приближения и многолучевости при решении задачи ионосферного распространения радиоволн;
- 4) применить разработанный комплекс программ для расчетов траекторий радиолучей и ионограмм наклонного зондирования для конкретных радиотрасс в модельной ионосфере и сравнить с результатами расчетов, полученными другими методами, в частности, методом пристрелки, а также с экспериментальными данными.

Результаты решения перечисленных выше задач составляют основное содержание диссертации, которая включает введение, четыре главы основного материала, заключение, приложение, содержащий 130 ссылок список цитируемой литературы, обзору которой посвящена первая глава диссертации.

Автор диссертации *выносит на защиту четыре положения.*

В первом положении утверждается, что при применении прямого вариационного метода для расчета радиолучей необходимо применять разные алгоритмы для поиска верхних и нижних лучей, посредством которых может осуществляться радиосвязь на фиксированной трассе из-за неоднородного распределения ионосферной плазмы в вертикальном направлении. Показано, что верхние радиолучи соответствуют минимумам функционала фазового пути, а нижние радиолучи соответствуют его седловым точкам. Это положение развивается и обосновывается в первой главе диссертации.

Во втором положении утверждается, что учитывающий отмеченные выше особенности прямой вариационный метод расчета верхних и нижних лучей, основанный на минимизации и поиске седловых точек функционала фазового пути, реализован на практике. Это положение обосновывается и подтверждается во второй главе диссертации.

В третьем положении констатируется, что разработан и реализован метод глобальной оптимизации функционала для систематического поиска множества верхних и нижних лучей граничной задачи, позволяющий разрешить проблему многолучевости в случае существования горизонтальных и вертикальных неоднородностей ионосферной плазмы. Это положение обосновывается и подтверждается в третьей главе диссертации.

Четвертое положение выносит на защиту разработанный автором единый комплекс программ решения граничной задачи о расчете радиотрасс в модельной ионосфере. Этот программный комплекс протестирован путем сравнения даваемых им результатов с результатами, полученными с использованием метода пристрелки при построении ионограмм наклонного зондирования ионосферы, а также с экспериментальными данными. Показана работоспособность созданного комплекса программ. Это положение вытекает из результатов четвертой главы диссертации.

Таким образом, автором получен ряд *новых результатов*, которые и вынесены на защиту. Новизна полученных результатов обусловлена тем обстоятельством, что примененный в диссертационной работе подход к расчету распространения коротких волн в ионосферной плазме, который основан на применении прямого вариационного метода для расчета радиолучей, ранее другими авторами для ионосферного распространения КВ почти совсем не применялся.

Полученные автором результаты, в частности разработанный комплекс компьютерных программ для расчетов траекторий радиолучей и ионограмм наклонного зондирования, могут найти *практическое применение* для

получения краткосрочного прогноза условий распространения и приема КВ–сигналов в различных геофизических условиях для конкретных однокачковых радиотрасс.

Корректность постановки задачи и метода ее решения, а также согласие полученных результатов численных расчетов с результатами расчетов, полученными другим методом, а именно, методом пристрелки, свидетельствуют в пользу *достоверности* полученных результатов. Кроме того, полученные результаты находятся в качественном и количественном согласии с экспериментальными данными.

Одним из *методов исследования*, применяемым в диссертационной работе является прямой вариационный метод для расчета радиолучей коротких волн в ионосферной плазме, который основывается на вариационном принципе Ферма, согласно которому траектории радиолучей должны удовлетворять условию стационарности фазового пути. В ходе применения прямого вариационного метода для расчета радиолучей использовался метод обобщенной силы, который позволяет осуществлять поиск как верхних, так и нижних лучевых траекторий.

Основные результаты работы были *апробированы* на российских и международных научных семинарах, симпозиумах и конференциях, а также опубликованы в российских и международных научных изданиях. По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 4 работы опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций.

Диссертация представляет собой законченное научное исследование, содержащее новые научные результаты в области радиофизики, изучающей распространение радиоволн в ионосферной плазме. Рекомендуется *использовать полученные результаты* в организациях, занимающихся исследованиями земной ионосферы и распространения радиоволн, в частности, в ИЗМИРАН, Институте космических исследований, Институте солнечно-земной физики СО РАН, НИРФИ, Полярном геофизическом институте, ААНИИ, БФУ им. И. Канта, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, ИКФИА им. Ю.Г. Шафера СО РАН.

Работа хорошо оформлена и написана понятным языком.

Диссертация была доложена автором и обсуждена на семинаре Апатитского отделения Полярного геофизического института в ходе посещения автором г. Апатиты с целью участия в работе Апатитского ежегодного семинара "Физика авроральных явлений".

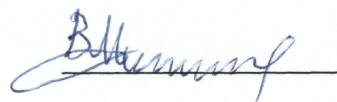
Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В целом, диссертация Носикова И.А. удовлетворяет требованиям действующего "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, она является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение имеющей важное значение задачи о расчете траекторных характеристик КВ радиотрасс в земной ионосфере. Таким образом, Носиков Игорь Анатольевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Отзыв обсужден и одобрен на совместном научном семинаре сектора вычислительного эксперимента и сектора теоретического моделирования ФГБНУ ПГИ 19 марта 2021 года.

Отзыв составлен зав. сектором вычислительного эксперимента ФГБНУ «Полярный геофизический институт» (ФГБНУ ПГИ) доктором физ.-мат. наук, профессором Мингалёвым Виктором Степановичем.

184209, г. Апатиты, Мурманская обл., мкр. Академгородок, д. 26 а,
телефон (815-55) 79-608, факс 7-43-39, e-mail: mingalev@pgia.ru

 Мингалёв В.С.