

Отзыв
официального оппонента
Захарова Виктора Ивановича
на диссертационную работу Филиппова Михаила Юрьевича
«Амплитудный фактор ионограммы вертикального
радиозондирования цифрового ионозонда»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Открытие ионизированных слоев верхней атмосферы ознаменовало собой эпоху не только бурного изучения свойств ионосферы, но и привела к практическому использованию УКВ излучения для нужд связи. Создание спутниковых систем связи привело к переносу центра тяжести связных приложений в область ВЧ сигналов и широкополосных каналов. Однако современное развитие методов дистанционной диагностики параметров ионосферы и моделирование ее состояния показывают, что роль чисто ионосферного УКВ- канала радиосвязи в настоящее время оказалась несколько недооцененной для ряда практических приложений. При этом исследование поглощения на радиотрассах различной ионосферной топологии и пространственной геометрии представляет собой не только практически важную, но и значительную с теоретической точки зрения задачу. Именно динамика поглощения радиоволн позволила зарегистрировать широтные, долготные, сезонные и др. эффекты и особенности ионизации в нижней части ионосферы, областях D и E. Эти исследования позволили экспериментально определить важнейшие для моделирования параметры среды - эффективные частоты соударений.

В рассмотренной постановке **тема представленной диссертации Филиппова М.Ю. является актуальной и важной** как для целей дистанционного зондирования, так и для целого ряда прикладных задач.

Диссертационная работа объемом 112 страниц состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 1 приложения. Список цитируемой литературы содержит 86 наименований, работа включает 40 рисунков. По материалам диссертации опубликовано 6 публикаций, включая 2 работы в рецензируемых журналах из перечня ВАК, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

Во **введении** автором обоснована актуальность исследований, обозначены цели работы, сформулированы научная новизна и научно-практическая ценность работы. Перечислены основные научные положения, выносимые на защиту. Приводится краткое содержание работы.

Первая глава содержит обзор классического метода определения поглощения КВ радиоволн по данным отражений от ионосферы, представлены основные результаты применения метода. Там же обсуждается проблема ускорения получения оценок для слоя D при использовании усреднения ионосферного поглощения радиоволн в частотной области по данным ионограммы.

Вторая глава посвящена рассмотрению возможностей радиозонда «Парус-А» для определения ионосферного поглощения. Исходя из его технических характеристик, автор вполне ожидаемо формулирует отсутствие нелинейных искажений при регистрации амплитуды как основное требование для потенциального использования этого ионозонда в качестве наблюдательного прибора. Рассмотрены также условия применимости методов расчета поглощения УКВ радиоволн по данным ВЗ с точки зрения их реализации и использования для государственной наблюдательной сети Росгидромета. Автором предложен и реализован тестовый эксперимент по регистрации суточной вариации поглощения радиоволн и сделан вывод, что проведенные исследования позволяют использовать рассматриваемый ионозонд в качестве инструмента для исследования ионосферного поглощения.

В третьей главе приведены литературные данные о суточной и сезонной динамике поглощения УКВ радиоволн и влияния на исследуемый параметр вариаций гелио- геофизических явлений, включая и зимнюю аномалию.. Автор излагает процедуру верификации метода расчета ионосферного поглощения по данным ионозонда ВЗ «Парус-А» на основе сопоставления результатами определения поглощения по предлагаемой методике и их сопоставлению с данным стандартного амплитудного метода. Для качественной и количественной оценки разрабатываемого метода расчета ионосферного поглощения предлагается использовать сравнение с параметром f_{min} , определяемым при регистрации ионограмм.

Четвертая глава содержит собственно оригинальные результаты и посвящена разработке метода расчета поглощения по данным ионозонда «Парус-А». Сформулированы физические допущения, лежащие в основе предлагаемой автором методики. Рассмотрен итеративный метод расчета поглощения по данным ВЗ с учетом действующей высоты слоя, определяемой экспериментально.

Пятая глава посвящена изложению оригинальных результатов автора по применению предложенного метода расчета ионосферного поглощения радиоволн к длительному 5-ему циклу наблюдений. На основе статистического анализа входных данных выявлены закономерности вариаций поглощения

радиоволн и проведена верификация реализованного алгоритма расчета амплитудного фактора. Отмечается, что со временем эквивалентная рабочая частота, на которой измеряется амплитудный фактор, изменяется, поэтому для анализа вариаций все значения приводятся к одной фиксированной частоте. Приведено также сравнение рассчитанного поглощения с данными модели IRI-2012 с включенным блоком нижней ионосферы.

Непосредственно автором получен ряд уникальных результатов, которые являются тестом работоспособности методики и в целом совпадают с данными других авторов, описанными в литературе. К последним относятся: сезонные и суточные вариации поглощения с максимумом в локальный полдень, ярко выраженная зависимость поглощения от зенитного угла Солнца в периоды без зимней аномалии, причем явление указанной аномалии также регистрируется в обработанных результатах. Автором зарегистрированы возмущения поглощения слоя D, вызванные вспышками на Солнце.

Диссертационная работа представляет собой в целом **завершенное научное исследование**. Для получения представленных экспериментальных данных использовалась современная аппаратура и апробированные методы измерений. Объем и качество представленных научных материалов достаточен для обоснования сформулированных выше выводов, а интерпретация полученных результатов в целом **достоверна** и не противоречит известным физическим теориям и результатам других авторов. Разные аспекты работы докладывались на многочисленных конференциях и широко опубликованы.

К **научной новизне** работы можно отнести следующие результаты :

- 1) метод определения поглощения по ионограммам ВЗ в D- слое и исследование его применимости для ионозонда «Парус-А», используемого в наблюдательной сети ИПГ;
- 2) созданная база данных величин поглощения по данным ВЗ московской ионосферной станции в период с 1.6.2011 по 1.10.2016 и станции расположенной в г. Ростов-на-Дону, с 1.01.2014 по 1.10.2016;
- 3) выполненный геофизический анализ полученных результатов.

Автором по теме диссертации опубликовано 6 статей (2 из них – перечня ВАК) и 9 тезисов, доложены на различных Российских и международных конференциях. Автор не только предложил и исследовал метод расчета поглощения по данным ВЗ, но и реализовал его в виде алгоритмов в вычислительной среде Matlab. Автором также проведены масштабные расчеты поглощения по данным ВЗ московской ионосферной станции в период с 1.6.2011

по 1.10.2016 и станции расположенной в г. Ростов-на-Дону, с 1.01.2014 по 1.10.2016

Вместе с тем, к рассмотренной диссертационной работе можно высказать **ряд критических замечаний.**

1. В работе следует обсудить влияние принятых автором допущений на величину и устойчивость оценок параметров поглощения в конкретных условиях. Особенно это касается равномерного распределения неоднородностей по высоте, одновременно с нормальным распределением относительных величин флуктуаций электронных концентраций в неоднородностях.
2. Автор вольно трактует понятие эргодичности. Используемый им известный радиофизический прием связан с «...требованием равенства средних значений по частоте средним по времени» и не основан на эргодичности исследуемого процесса в широком смысле.
3. Анализ влияния солнечных вспышек на поглощение нуждается в дополнительном исследовании, поскольку очевидно основан на уникальных довольно длительных и крайне слабых по энергии вспышках, наблюдаемых автором в рентгеновском диапазоне. Выбранные для ионозонда «Парус-А» интервалы наблюдения 15-30 мин делает найденные реакции в D- области на солнечные вспышки по настоящему «счастливым случаем».
4. Странные критерии выбора параметров регрессионной модели «Для регрессионного анализа были выбран полином третьей ($n=3$) степени ..., как наиболее отвечающий внешнему виду...» области из облака приведенных точек рис. 35.
5. В работе обсуждение максимальных ошибок эксперимента проведено на стр. 63 и, к сожалению, автор ни на одном из рисунков не приводит актуальные для конкретного эксперимента погрешности.
6. В тексте присутствуют опечатки и описки, «жаргонизмы», часть текста небрежно оформлена. Например, в названии п.3.1 читаем «Периодические вариации поглощения, обусловленные геометрией солнечного излучения...» или на стр.42 «... наблюдаемый в ионосферном поглощении КВ радиоволн при вспышке в рентгене...». Некоторые рисунки содержит ошибки (например, на рис. 8 насчитывается 9 кривых, хотя в подписи речь идет о 8). На стр. 63 формулы не окончены. На стр. 79 читателю предлагается угадать номер таблицы – 2 или все же 1, как написано 3 строками ниже.

Тем не менее, ценность работы можно оценить как высокую, а ряд высказанных замечаний теоретико-методического характера можно считать

предметом дальнейших исследований, что еще раз доказывает актуальность избранной автором темы.

В целом, представленная диссертация выполнена на актуальную тему и на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-исследовательскую работу. Перечисленные замечания и недостатки в целом не имеют принципиального характера и не снижают общий высокий уровень диссертации. Основные выводы и положения, выносимые на защиту, содержательны и обоснованы. Достоверность и новизна научных результатов подтверждается публикациями в рецензируемых научных журналах, обсуждениями на конференциях и семинарах., а также удовлетворительным согласием с результатами полученными другими авторами. Содержание диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям,

Материалы диссертации могут быть полезны широкому кругу специалистов, занимающихся научно-исследовательской работой в области физики и оптики атмосферы. Результаты могут быть использованы в ряде научных учреждений, в частности, Института прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова Росгидромета, Институте космических исследований РАН, ИЗМИРАН, ПГИ Кольского отделения РАН и т.д.

Оценивая работу Филиппова М.Ю., можно утверждать, что диссертация представляет собой законченное научное исследование и по объему результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Филиппов М.Ю., заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Официальный оппонент –
к. ф.-м. н., доцент кафедры физики атмосферы
Физического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова
e-mail : zvi_555@list.ru или zakharov.vi@physics.msu.ru

Захаров В.И.

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



Сысоев Н.Н.

26 июля 2017г.