

Диссертационный совет 24.1.197.01
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Степанова Александра Егоровича

“Исследование крупномасштабных структур высокоширотной ионосферы и поляризационного джета по измерениям на Якутской цепочке ионозондов и спутниковым данным”, представленной к защите на соискание
ученой степени доктора физико-математических наук
по специальности 1.6.18. – науки об атмосфере и климате

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе Степанова А.Е., относятся к общей проблеме физики и морфологии окружающей среды и, в частности, строению арктической части ионизированной оболочки земной атмосферы – авроральной и субавроральной ионосферы. В этой области происходит интенсивное взаимодействие с магнитосферой Земли, подверженной влиянию солнечного ветра – потоков заряженных частиц солнечной плазмы и, следовательно, она характеризуется наличием сложных крупномасштабных динамических структур.

В субавроральной ионосфере на фоне крупномасштабной конвекции плазмы спутниковыми средствами измерений состояния плазмы регистрируются узкие потоки быстрых ионных дрейфов, направленные на запад – SubAuroral Ion Driftds (SAID). Они проявляются во время геомагнитных возмущений на высотах верхней области слоя F ионосферы. Это явление впервые было обнаружено группой профессора Ю. И. Гальперина и было названо поляризационным джетом (ПД). Формирование и существование поляризационного джета приводит к ряду структурных изменений в ионосфере, таких как изменения электронного состава ионосферы, возникновения плазменных неоднородностей в F-слое

ионосферы, образованию плазмосферных провалов в области плазмопаузы. Все это оказывает влияние на условия распространения радиоволн и общее состояние космической погоды. Поэтому экспериментальные и теоретические исследования поляризованного джета являются одной из актуальных и интересных задач физики ионосферы и магнитосферы. Кроме того, знание морфологии арктической ионосферы и возможность мониторинга динамики крупномасштабных ионосферных структур имеет и прикладное значение в задачах освоения полярного региона России – как материал для формирования математического представления среды, в том числе, и в вопросах оборонного потенциала страны.

В своей диссертационной работе автор представляет обобщенные результаты многолетних экспериментальных исследований по проявлениям поляризованного джета в комплексных данных: вертикального и возвратно-наклонного радиозондирования ионосферы на Якутской цепочке станций и пролетных спутниковых измерениях ионного состава ионосферы. Тематика диссертации направлена, прежде всего, на морфологическое описание “тонкой” структуры субавроральной ионосферы – SAID (ПД) и попытки связать радиофизические проявления с прямыми спутниковыми измерениями параметров плазмы.

Работа состоит из введения, шести глав, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность темы, которой посвящена работа, дано краткое описание материалов по главам диссертации и сформулированы основные положения работы, выносимые на защиту.

В **Главе 1** дано описание уникальной инструментальной системы радиозондирования ионосферы, исторически сложившейся в ИКФИА СО РАН – меридиональной цепочки ионосферных станций на северо-востоке РФ (Якутская цепочка станций), анализу геофизической информации, получаемой из ионограмм вертикального (ВЗ) и возвратно-наклонного (ВНЗ) в высоких широтах, их интерпретации и классификации. В частности, отмечаются особенности проявления резких изменений электронной плотности ионосферы в ионограммах ВЗ, связываемых с предполагаемым SAID.

Во **второй** главе приводится анализ радиофизического отклика локализованных по размерам перемещающихся ионосферных возмущений, включая характерные для всей ионосферы перемещающиеся волновые

возмущения (ПИБ). Интересным является результат анализа работы радиолиний в арктической зоне и наличие эффекта “blackout” во время интенсивных геомагнитных возмущений.

Проявления поляризационного джета (быстрых дрейфов ионосферной плазмы) по наземным данным составляет содержание **третьей** главы диссертации, где, с привлечением данных спутниковых измерений, дается обоснованный тип в общей классификации ионограмм ВЗ для сильно неоднородной и динамичной авроральной ионосферы. В частности, показано что на ионограммах ВЗ ионосферным признаком развития поляризационного джета над станцией наблюдения является дополнительный характерный след отражения - F3s-отражение, критическая частота которого всегда ниже критической частоты регулярного F2-слоя, а виртуальная высота выше минимальной высоты слоя F2. Здесь следует отметить результат ионозонда DPS-4, представленный на рис. 3.4, ярко демонстрирующий наличие провала в электронной плотности, связанного с поляризационным джетом.

В **четвертой** главе приведены результаты по морфологии и динамике быстрых субавроральных ионных дрейфов (поляризационного джета) по наземным и спутниковым данным. Рассматриваются многолетние ионосферные материалы, полученные на Якутской меридиональной цепочке ионосферных станций и несколькими сериям пролетных спутников. В частности, оценено характерное время существования поляризационного джета, как 3-4 часа с максимум вероятности появления в вечернем секторе локального магнитного времени.

В **пятой** главе рассмотрены механизмы генерации сильных локальных электрических полей магнитосферного происхождения, формирование поляризационного джета в ходе взрывной фазы суббури, а также дрейфы ионосферной плазмы в полосе поляризационного джета и их математическое моделирование проведено в **шестой** главе диссертации.

Таким образом, автор связывает уникальные многолетние данные радиозондирования ионосферы на Якутской меридиональной цепочке станций с результатами спутниковых измерений на различных высотах пролетных космических аппаратов, описывает морфологию области поляризационного джета и выполняет математическое моделирование физических факторов его генерации и особенностей геофизического проявления.

Диссертационная работа Степанова А.Е. соответствует паспорту специальности 1.6.18. – науки об атмосфере и климате, а именно пункту 4: Строение атмосферы (строение и физика средней атмосферы и ионосферы, включая влияние ионосферы на распространение радиоволн).

Автореферат достоверно отражает содержание диссертации.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы

Научная новизна работы заключается в разработке комплексного метода анализа динамических изменений ионного и электронного состава в субавроральной области ионосферы во время геомагнитных возмущений. Показано, что радиофизические проявления и прямые измерения плазменного состава регистрируют одно и то же явление – генерацию поляризационного джета, ориентированного в западном направлении и наиболее значимо проявляющееся в вечернем секторе локального времени.

Практическая значимость заключается: в построении эмпирических представлений, характеризующих динамику и крупномасштабную структуру полярной ионосферы в утреннем и дневном секторах в зависимости от MLT и Kp-индекса и сложном характере описания работы радиолиний в высоких широтах, что важно для построения эмпирических моделей ионосферы высоких широт и развития прогнозирования работы систем связи в арктическом регионе РФ.

Апробация работы

Основные результаты достаточно полно обоснованы и опубликованы в реферируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, индексируемых в Scopus и Web of Science. Результаты исследований докладывались на международных и всероссийских конференциях, в том числе на зарубежных. Общий уровень и объем публикаций автора соответствует требованиям пунктов 11 и 13 действующего «Положения о присуждении ученых степеней».

Имеются некоторые замечания и рекомендации по диссертационной работе Степанова А.Е.:

1. Спутниковые измерения, в основном, относятся к ионному составу ионосферы, а ионозонды регистрируют состояние ее электронной компоненты и представляется, что в исследовании нужно бы более четко связать направленный дрейф обоих составляющих ионосферной плазмы.

2. Представляется, что результат шестой главы диссертации является подтверждением ряда предыдущих работ по физическому фактору в формировании поляризованного джета – дополнительное электрическое поле магнитосферной конвекции в субавроральных широтах.
3. Очень желательно бы давать более развернутые аннотации и заключения к главам диссертации для понимания основных результатов, представленных в данном разделе.

Заключение

Диссертационная работа Степанова Александра Егоровича на тему “Исследование крупномасштабных структур высокоширотной ионосферы и поляризованного джета по измерениям на Якутской цепочке ионозондов и спутниковым данным” представляет собой целостное законченное исследование, дающее обоснованное представление о физической природе, морфологии и радиофизических проявлениях природного явления высокоширотной ионосферы – направленного дрейфа плазмы, возникающего при геомагнитных возмущениях на субавроральных широтах. Результаты диссертации, без сомнения, будут использованы другими исследователями в проблеме понимания сложной структуры авроральной ионосферы.

Диссертация и автореферат содержат совокупность выносимых на защиту положений и полностью соответствуют научной специальности 1.6.18. – науки об атмосфере и климате.

В целом, диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (п. 9-14), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, в том числе п. 9, а именно, предложено научно обоснованное представление о природе, морфологии, проявлениях в радиофизических, спутниковых данных специфического явления высокоширотной ионосферы – субаврорального поляризованного джета. Автор диссертации, Степанов Александр Егорович, вполне заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.18. – науки об атмосфере и климате

Официальный оппонент,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В. Пушкова Российской академии наук, лаборатория моделирования
волновых полей в ионосфере, и. о. зав. лабораторией

доктор физ.-мат. наук,
01.04.03 - Радиофизика

И.В. Крашенинников

108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4, ИЗМИРАН.
Тел. +7(495)8510279 e-mail: krash@izmiran.ru.

Подпись Игоря Васильевича Крашенинникова заверяю

Ученый секретарь ИЗМИРАН,
кандидат физ.-мат. наук



“11” сентября 2023 г.