

ВВЕДЕНИЕ

В настоящем сборнике помещены статьи участников проекта «Система мониторинга ионосферы арктической зоны, на основе внешнего и трансionoсферного радиозондирования с борта гелиогеофизических космических комплексов», который выполняется при поддержке гранта РФФИ 15-29-06052.

Мониторинг геофизической обстановки в Арктической зоне Российской Федерации, включающий, в частности, процессы наблюдения, оценки и прогноза состояния ионосферы является не только фундаментальной научной проблемой из-за сложности процессов авроральной ионизации и движения магнитного полюса, но и важнейшим вопросом освоения этих обширных территорий нашей страны. Авроральная ионосфера и прилегающие к ней районы главного ионосферного провала, является индикатором различных процессов в климатической системе «планета Земля — атмосфера». В частности, спектр излучения ионосферной плазмы, прежде всего, связан с геомагнитным полем. Наличие неоднородных структур в ионосфере арктической Зоны является типичным состоянием этой среды. Ионосфера в областях авроральной зоны и главного ионосферного провала мало поддается модельному описанию и тем более долгосрочному прогнозу. Для краткосрочного прогноза необходимо непрерывное получение оперативной информации. Использование космических аппаратов (КА) для мониторинга ионосферы в Арктике представляется реалистичным и эффективным. Таким образом, наш проект направлен не только на решение фундаментальной научной проблемы — осуществление мониторинга ионосферы арктической Зоны с использованием системы КА, но и на решение общегосударственной задачи.

Собранные в одном месте (в настоящем сборнике) эти работы участников проекта показывают, что высокоточный мониторинг ионосферы для всего арктического региона целесообразно проводить на основе системного радиозондирования ионосферы с использованием ионозондов наземного и космического базирования, работающих в диапазоне плазменных концентраций основных ионосферных слоев. Представленные работы нацелены именно на такой высокоточный мониторинг и для этого предлагают различные варианты его осуществления. Выделены и рассмотрены три варианта наземно-спутникового мониторинга ионосферы в Арктике на основе внешнего и трансionoсферного радиозондирования с различных орбит при постоянном присутствии элемента наземного радиозондирования во всех трех случаях.

Первый вариант использует ионозонды для внешнего радиозондирования ионосферы с классической круговой орбитой — ориентировочно 700–1200 км высоты. Обширный экспериментальный материал, прежде всего, с отечественных бортовых ионозондов на ИСЗ «Интеркосмос-19» (ИК-19), «Космос-1809» (К-1809) и космической станции «Мир», впервые рассмотрен с единых позиций, нацеленных на мониторинг ионосферы Арктики. Проведен анализ сложных ионограмм, полученных в арктической области, с объяснением причин появления того или иного вида дополнительных следов. Представлены критерии эффективности использования космических систем. Проведена оценка эффективности использования подготавливаемой в настоящее время космической системы «Ионозонд» при различных типах круговых орбит ИСЗ для внешнего и трансionoсферного радиозондирования арктической ионосферы. Оценена возможность использования существующих наземных структур для осуществления всех четырех типов системного радиозондирования ионосферы: наземного, внешнего и двух типов трансionoсферного радиозондирования — прямого (ТИЗ) и обратного (ОТИЗ). Рассмотрены и систематизированы особенности высокоширотных ионограмм внешнего зондирования в полярной ионосфере. Создан специальный интернет-ресурс на сайте ФГБУ «ИПГ», на котором представлена база данных ионограмм из арктической зоны, полученных с ИСЗ ИК-19 и К-1809. Отмечены и основные недостатки метода использования круговой орбиты.

Во втором варианте рассмотрен способ устранения недостатков, отмеченных в первом варианте. Впервые в мировой практике предлагается космическая система с высокоорбитальным ионозондом для внешнего зондирования ионосферы. Показан способ её реализации — предложена схема мониторинга арктической ионосферы на основе системного радиозондирования с космических аппаратов на высокоэллиптической орбите с апогеем над Северным географическим полюсом и перигеем над Южным полюсом. Для реализации внешнего зондирования используется регистрация отражен-

ных от внешней ионосферы планеты сигналов с помощью корреляционного радиоприема с возможностью накопления эхо-сигналов. Детально проработан конкретный способ корреляционного радиоприема при фазово-кодовой модуляции с использованием кода Баркера 4-го порядка для трех различных солнечно-синхронных орбит, в том числе, в присутствии значительной наземной помехи на частоте зондирования. Рассмотрены три полярные орбиты с апогеем соответственно на высоте 40000 км от поверхности Земли, 20000 км и 10000 км. Показано, что даже максимально удаленная в апогее от поверхности Земли орбита (здесь будет наблюдаться максимальное ослабление сигнала передатчика ионозонда) показывает реальность получения ионограмм при сеансах с длительностью, не выходящей за пределы разумного применения. Все три орбиты обеспечивают время непрерывного наблюдения достаточное для регистрации всей динамики возникновения, развития и исчезновения арктических ионосферных неоднородностей. Отмечены недостатки использования высокоэллиптической орбиты. Именно — изменение френелевского объема зоны отражения радиоволн в зависимости от высоты ИСЗ. Тем самым, предсказано наличие высотной зависимости перехода от отражения радиоволн к рассеянию радиоволн при внешнем радиозондировании ионосферы Земли. До настоящего времени такой эффект экспериментально обнаружен не был.

В третьем варианте представлена система прямого трансionoсферного радиозондирования с высокоапогейного ИСЗ и отдельные элементы трансionoсферного радиозондирования для ИСЗ на круговых орбитах. Система с высокоапогейного ИСЗ может быть реализована, с одной стороны, как элемент системного радиозондирования, в которой трансionoграммы регистрируются вместе с ионограммами наземного и внешнего радиозондирования. С другой стороны, она может быть реализована как самостоятельная система, состоящая из передатчика на ИСЗ и системы простых наземных станций только для приема трансionoграмм. Эти станции должны оперативно обмениваться между собой информацией по дополнительным линиям УКВ-радиосвязи. Второй способ получил название — метод МРПИ (метод многочастотного радиопросвечивания ионосферы), а полученные ионограммы содержат кроме частотной зависимости групповых задержек, которые являются основным результатом прямого ТИЗ, также частотную зависимость амплитуд, дошедших до земли сигналов. Особо подчеркивается, что в таком варианте — в связи с легкостью его использования с автоматической обработкой данных — метод может стать основой дистанционного мониторинга в оперативном режиме. Для трансionoсферного варианта проведен анализ энергетического потенциала с высот локализации геостационарных и высокоапогейных спутников в технологии использования линейно-частотно-модулированного сигнала, как оптимального для сверхдальнего распространения радиоволн. Выбрано радиопередающее устройство с мощностью в 100 Вт, способное стать основой для формирования зондирующего радиоизлучения в борта космического аппарата вплоть до высот геостационарного ИСЗ. В обоих случаях показано, что система трансionoсферного радиозондирования позволяет определять ионосферные неоднородности внутренней ионосферы методом сканирования радиолучом по пространству вблизи граничной частоты прозрачности ионосферы. Также показано, что величина и контрастность неоднородностей определяется эффектом отражения наклонного луча от Земли. Отмечается также сложность интерпретации положения (широта, долгота, высота) и величины граничной частоты прозрачности ионосферы в Арктике.

Научный руководитель проекта РФФИ 15-29-06052

В.Б. Лапшин