

УДК 551.594.51

Научные и прикладные проблемы исследований воздействий мощных радиоволн на ионосферу Земли

© Авторы, 2011

С. И. Козлов – д. ф.-м. н., вед. научн. сотрудник, Институт динамики геосфер РАН
E-mail: s_kozlov@inbox.ru

В. М. Сорокин – д. ф.-м. н., профессор, зав.лабораторией, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН
E-mail: sova@izmiran.ru

На основании анализа многочисленных экспериментальных и теоретических работ по воздействиям мощных радиоволн на ионосферу сформулированы основные научные и прикладные проблемы исследований, являющиеся в настоящее время наиболее важными и актуальными; уделено главное внимание четырем нагревным стендам Heating, HAARP, HIPAS и SPEAR, расположенным в полярных районах.

Ключевые слова: ионосфера, мощные радиоволны, основные научные и прикладные проблемы.

We review the numerous experimental and theoretical works concerning powerful radiowaves impact on the Earth's ionosphere. The most important up-to-date scientific and applied problems in the field under consideration are defined with main emphasis being placed on the four high latitude HF heating facilities: HAARP, HIPAS, SPEAR and Heating.

Keywords: ionosphere, radiowaves, heating, scientific and applied problems.

Введение. Идеи о возможности модификации ионосферы радиоволнами большой мощности были высказаны еще в конце 1930-х гг., однако вплоть до 1970-х гг. исследования носили в основном теоретический характер, и только после создания на различных широтах специальных радиотехнических комплексов (нагревных стендов), работающих в диапазоне коротких радиоволн, они приобрели и ярковыраженную экспериментальную направленность со значительным уклоном в области решений практических задач.

В США и СССР были созданы более 10 нагревных стендов [7, 14]. В настоящее время функционирует только шесть из них. На средних широтах – стенд в Аресибо (США) и известный комплекс «Сура» (Н. Новгород, Россия). На высоких широтах – стенды «Heating» (Тромсе, Норвегия), HAARP, HIPAS (Аляска, США), SPEAR (Шпицберген, Норвегия). Последние три стенда названы по первым буквам Программ «High Frequency Active Auroral Research», «High Power Auroral Simulation», «Plasma Exploration by Active Radar» соответственно.

Экспериментальным и теоретическим исследованиям воздействий мощных радиоволн на ионосферу Земли посвящено большое количество работ. Среди них отметим наиболее важные оригинальные и обобщающие исследования [5–11, 14–17, 19, 20, 22–24, 26–33]. Несмотря на сокращение по разным причинам числа реально функционирующих стендов, именно в последние 15–20 лет были получены весьма интересные экспериментальные данные. Эти данные, за редким исключением, в полной мере не обсуждались в упомянутых выше работах и поэтому они требуют своего научного и прикладного анализа. К ним, например, относятся данные полученные в результате:

- регистрации излучения в УНЧ–СНЧ–ОНЧ диапазонах длин волн;
- наблюдения за воздействием мощных радиоволн на ионосферу во время естественных возмущений;
- исследования распространения низкочастотных излучений вверх через магнитосферу Земли в магнито-сопряженные области;
- изучения возможных экологических последствий в ионосфере и магнитосфере Земли при работе нагревных стендов и т. д.

По вопросу экологического воздействия нагревных стендов публикуются (особенно в СМИ) малообоснованные соображения. Например, в них утверждается, что функционирование стенда HAARP при-

ведет к таянию арктических льдов, негативному воздействию на линии электропередач, на нефтегазовые трубопроводы, здоровье людей и даже на изменение погоды и климата (см., например, [2, 12]). Критика наиболее малокачественных и одиозных подобных соображений была дана в работе [1]. Несмотря на это, ряд вопросов требует определенного осмысления и серьезного изучения. Ионосфера является первичной средой, на которую влияют мощные радиоволны. Возникающие возмущения различной интенсивности и различных пространственно-временных масштабов могут воздействовать практически на все геосферы – магнитосферу, стратосферу, тропосферу, литосферу, гидросферу. Таким образом, нагревные комплексы представляют собой в определенном плане универсальные и уникальные средства искусственного возмущения окружающей природной среды.

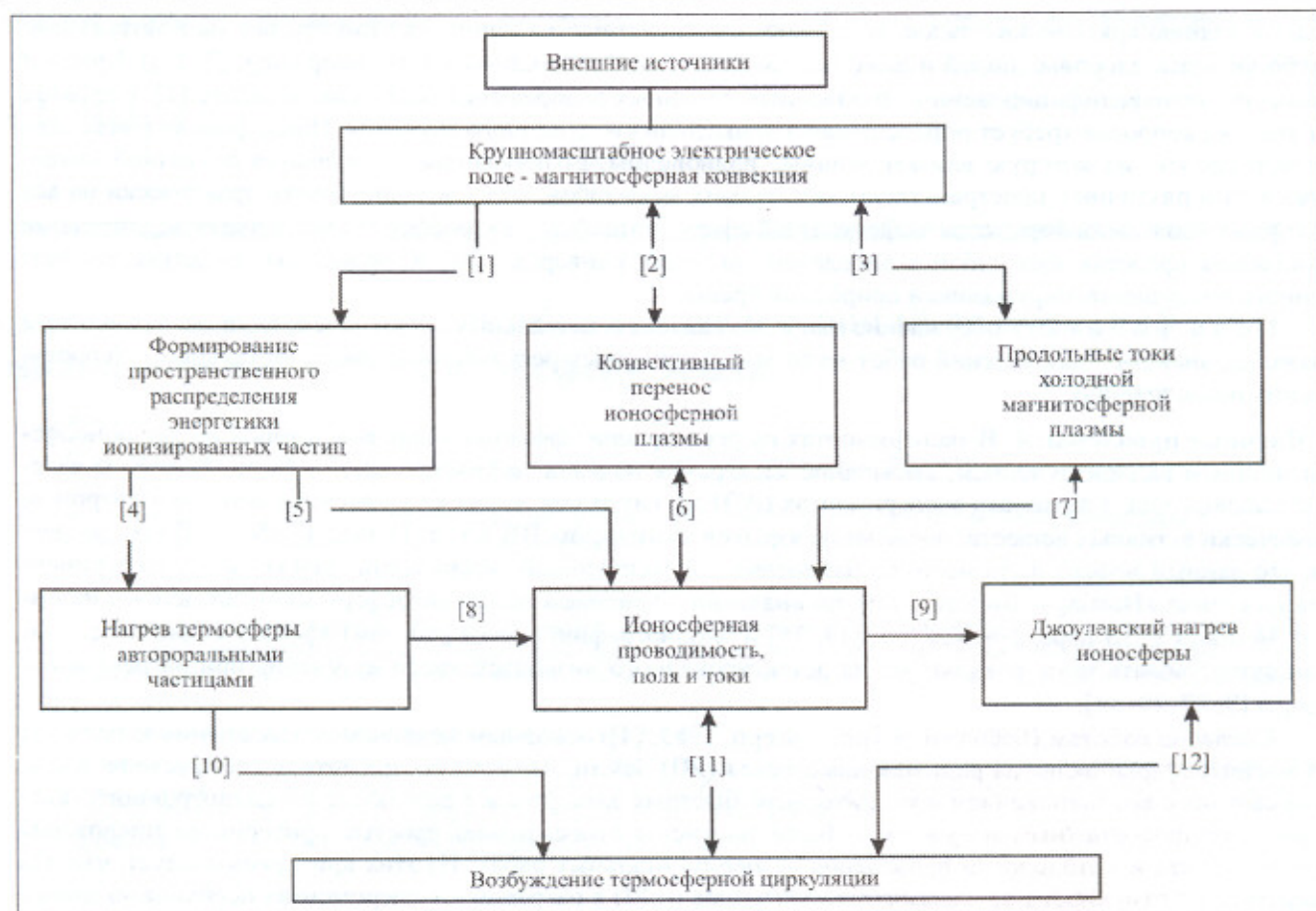
Цель работы – обсуждение наиболее важных и актуальных научных и прикладных проблем, а также дальнейших направлений работ на основе полученных результатов экспериментальных и теоретических исследований.

1. Научные проблемы. *А.* В экспериментах по регистрации эффектов, сопровождающих нагрев ионосферы мощным радиоизлучением, высыпание электронов надежно зафиксировано не было. Подобное явление наблюдалось в активных экспериментах (АЭ) других типов, таких как инжекция ионов и электронов, химически активных веществ, проведение взрывов химических ВВ и т. д. Только в работе [5] утверждается, что данный эффект имел место по измерениям пульсирующей авроральной дуги во время экспериментов на стенде «Heating». Вместе с тем, по аналогии с влиянием на магнитосферу многочисленных наземных мощных СДВ передатчиков (см. [14, 15] и библиографию к этим работам) эффект, в принципе, должен существовать из-за возникновения детектированного низкочастотного излучения при нагреве ионосферы [9, 27–29, 31].

Согласно работам (Беспалов и Трахтенгерц, 1983, [4]) основным механизмом высыпания электронов из магнитосферы, включая радиационные пояса (РП) Земли, является их циклотронная неустойчивость. Она связана с возникновением в магнитосфере быстрых электронов в результате их циклотронного ускорения электромагнитным излучением. Были получены относительно простые критерии возникновения этого эффекта и методологии проведения экспериментальных работ. Из этих критериев следует, что для уверенного стимулирования высыпания электронов из РП в нагревных экспериментах необходимо знание ряда параметров естественной среды. К ним относятся мощность источников частиц в РП, коэффициент отражения низкочастотных волн и магнитных пульсаций от нижней ионосферы, степень возмущенности ионосферы. Как видно, осуществление таких экспериментов является довольно сложной задачей, и до сих пор они проведены не были. Основной проблемой, возникающей при их проведении, является определение геофизических условий, при которых возможно высыпание электронов из магнитосферы или РП. Эти условия должны зависеть от эквивалентной мощности излучения стенда PG, географических (геомагнитных) его координат, режимов работы, частоты волны накачки f_H и др. Так как характеристики ионизационных и оптических эффектов, сопровождающих высыпание электронов в возмущенной среде, существенно зависят от их спектра, то возникнет необходимость переоценки результатов, полученных в [11].

Б. При проведении экспериментов по нагреву ионосферы с помощью стенда Heating (параметр Мак-Илвейна $L=6,2$) было обнаружено усиление авроральной активности [5]. Воздействие осуществлялось на слой E_S и область F2 ночной ионосферы в условиях слабой, умеренной и сильной магнитной активности. Соответствующие индексы имели следующие значения: $K_p \approx 2, 3$ и 5. Теория этого явления недостаточно развита [5, 24, 25, 32]. Все известные возмущения в естественной полярной ионосфере (полярные сияния, авроральное поглощение, суббури, поглощение в полярной шапке и т.п.) так или иначе взаимосвязаны между собой и определяются взаимодействиями в системе магнитосфера-ионосфера. Примерная схема таких взаимодействий показана на рисунке, приведенном в работе [21]. Обратим внимание на существование во многих случаях обратных связей. В спокойных условиях скорости переноса энергии и массы между магнитосферой и ионосферой и обратно небольшие, и это соответствует накоплению энергии в магнитосфере. В периоды возмущений, которые и обсуждаются здесь, эти скорости резко возрастают.

Действие мощной радиоволны приводит, прежде всего, к изменениям ионосферной проводимости, электрического поля и тока. Если считать, что при таком воздействии физический смысл взаимодействий, представленных на рисунке [21], не изменяется и не возникают какие-то принципиально новые каналы обмена энергией и массой, то, очевидно, должны усиливаться обратные процессы – ионосферно-магнитосферные связи. Какие из механизмов переноса энергии и массы в такой ситуации должны преобладать («сверху вниз» или «снизу вверх») и к каким, в конечном счете, эффектам в околоземном космическом пространстве (ОКП) это приведет – неясно. Соответствующая более или менее полная модель явле-



Упрощенная схема магнитосферно-ионосферных взаимодействий: 1 – перераспределение энергии ускоренных частиц с переносом ее от граничных областей внутрь магнитосферы; 2, 6 – перенос энергии конвекции магнитосферной плазмы в ионосферу; 3, 7 – перенос заряда токами холодной плазмы; 4 – перенос энергии из магнитосферы в термосферу, приводящий к авроральным потеплениям термосферы; 1, 5 – перенос энергии заряда из магнитосферы в ионосферу быстрыми частицами; 8, 9 – трансформация энергии в ионосфере; 10, 11, 12 – перенос энергии

ния в настоящее время не разработана. Поэтому приближенные оценки характеристик явления, полученные в работах [5, 24, 25, 32], довольно качественные. Несмотря на их важность, необходимо дальнейшее развитие этой модели.

В. Совершенно не изучено поведение ОКП, если наиболее мощный стенд HAARP начнет работать на пределе своей мощности ($P_G \geq 3000$ МВт) на частотах $f_H > 5-6$ МГц. Излучение такой мощности может привести на каких-то высотах h к пробое воздуха и образованию ионизированных областей (Гуревич, 1980; Борисов и др., 1986; см. [4]). Кроме того, в данной ситуации в зависимости от P_G , f_H , геомагнитной широты, h возникают и вопросы экологического характера [6] – поведения озона O_3 , окислов азота, воды, прохождения солнечного излучения через возмущенную подобным образом среду и т. д., вплоть до возможного изменения погоды в каком-либо масштабе.

Г. Не вызывает сомнения, что часть энергии из возмущенной области ионосферы должна высвечиваться в инфракрасном диапазоне спектра. Это утверждение основано на том, что энергия возбуждения колебательных уровней таких молекул, как N_2 , NO и др., значительно меньше потенциалов возбуждения атомарного кислорода в состоянии 1D и 1S , излучение которого в красной и зеленых линиях осуществляется в подобных условиях. Модель свечения ионосферы при воздействии на нее мощных радиоволн в инфракрасном диапазоне спектра в зависимости от P_G , f_H , возникающих ускоренных электронов, эффекта «магнитного зенита», режимов работы (включение – пауза) нагревных стендов не разработана. Она может быть весьма полезной для оценки фоновой обстановки в ОКП, обнаружения факта функционирования нагревных установок, а также для усовершенствования и развития методов дистанционной диагностики возмущенной области с помощью средств наземного и космического базирования [17]. В качестве примера сошлемся на опыт проведения активных экспериментов ИДГ РАН в рамках российско-американского

сотрудничества [13] который показал, что надежное обнаружение возмущения по инфракрасному излучению возможно в принципе на расстояниях ~3000км от места его возникновения.

Д. В настоящее время во всем мире большое внимание уделяется постепенному смещению северного магнитного полюса примерно в северо-восточном направлении. Это иллюстрирует таблица, взятая из обобщенного анализа приведенного в [18], в котором также оценены последствия этого смещения для состояния естественной ионосферы. В такой ситуации, очевидно, медленно, но постоянно изменяются геомагнитные координаты нагревных стендов. Учитывая большую роль магнитного поля при воздействии на ионосферу мощными радиоволнами, необходимо понять насколько факт смещения магнитного полюса повлияет на характеристики многообразных возникающих эффектов.

Е. Усовершенствование существующих моделей распространения низкочастотных волн в волноводе ионосфера – земля и создание на высоком уровне моделей распространения этих волн в земле и воде является весьма актуальной проблемой. Даже в весьма полном обзоре [9], в котором приводятся экспериментальные данные по измерению амплитуд УНЧ-СНЧ-ОНЧ волн на глубине 20–25 м под землей во время работы стенда HIPAS, какие-либо теоретические расчеты отсутствуют. Для развития модели генерации волн необходимо оценить:

долю энергии мощной волны накачки, которая переходит в низкочастотное излучение, и ее распределение между нижней и верхней полусферами;

высоту расположения источника таких излучений и его геометрию;

азимут распространения СДВ волн.

Ж. На возможность сверхсветового движения интерференционной картины в ионосфере, возникающей при работе двух мощных передатчиков на относительно небольших расстояниях друг от друга и на разных частотах, было указано в работе [19]. Такое движение должно приводить к генерации черенковского излучения, связанного с возмущением ионосферного тока. Надежного экспериментального подтверждения данного эффекта не существует [9]. Может быть с помощью стендов HAARP и HIPAS, а также «Heating» и SPEAR, отстоящих, соответственно, друг от друга на сравнительно небольших расстояниях, эффект действительно будет обнаружен.

2. Прикладные проблемы. В принципе прикладные аспекты воздействия мощных радиоволн на ионосферу были известны еще с 1970-х гг. Они были связаны в основном с распространением радиоволн через возмущенную подобным образом среду. Однако данные аспекты этим не ограничиваются, и в настоящее время наиболее важно понять, как подобные стенды могут повлиять не только на радиотехнические, но и на другие системы различного назначения космического и наземного базирования, а также на окружающую природную среду. Рассмотренные ниже проблемы (вопросы) не претендуют на полноту их изложения и, безусловно, могут быть дополнены и уточнены. Главное внимание уделяется четырем нагревным стендам, расположенным в полярных районах.

А. Одной из проблем представляется передача необходимой информации с помощью низкочастотных радиоволн, которые всегда возникают при работе нагревных стендов, объектов под землей и водой. К ней же, очевидно, примыкают и вопросы обнаружения таких объектов.

Б. Как показано выше, исследования действия мощных радиоволн на естественно возмущенную полярную ионосферу далеки от своего завершения. С практических позиций наиболее важным является понимание, когда и в каких условиях это действие приводит к усилению или ослаблению различных авральных возмущений. Данный вопрос имеет, естественно, и экологическое значение.

В. Технические параметры стендов Heating, HAARP, HIPAS, SPEAR, их географические и геомагнитные координаты хорошо известны. Комплексный анализ этих данных позволяет сформулировать ряд вопросов, имеющих важное прикладное значение, и ответы на которые являются пока сугубо гипотетическими.

Во-первых, с какой целью стенды, с одной стороны, HAARP и HIPAS, а с другой, Heating и SPEAR были созданы на относительно небольших расстояниях друг от друга? Казалось бы, для крупномасштабных исследований полярной ионосферы более оптимально строить стенды на значительных расстояниях от уже существующих.

Во-вторых, по своим техническим характеристикам сравнительно недавно введенные в эксплуатацию стенды HAARP, HIPAS, SPEAR значительно отличаются от первой установки Heating, которая и сейчас считается вполне современной. Не понятно, почему возникла такая ситуация, когда хорошо известно, что для ис-

Изменение положения Северного магнитного полюса

Год	Широта	Долгота	Скорость смещения, км/год
2001	81,3 N	110,8 W	–
2002	81,6 N	111,6 W	36,04
2003	82,0 N	112,4 W	46,5
2004	82,3 N	113,4 W	36,8
2005	82,7 N	114,4 W	46,98

следования одного и того же объекта (в данном случае – полярной ионосферы) одним и тем же методом (мощными радиоволнами) лучше использовать технические средства с близкими параметрами, что в принципе исключает противоречивость экспериментальных данных и облегчает их интерпретацию. Ссылки на то, что наука и техника не стоят на месте или что каждый из станций решает свои специфические задачи, которые не могут быть возложены на другие установки, представляются малоубедительными.

В третьих, несмотря на то, что здесь не должно быть каких-либо неясностей, географическая и геомагнитная схемы размещения обсуждаемых нагревных станций до конца не поняты и не объяснены, прежде всего, с позиций прикладного их использования. Действительно, все четыре установки находятся практически на одном и том же географическом меридиане, $\sim 150^\circ \text{W} - 30^\circ \text{E}$, хотя в полярных районах основную роль должны играть геомагнитные координаты. Станции HAARP и HIPAS расположены, по сути дела, на одном геомагнитном меридиане ($\sim 270^\circ$), а станции Heating и SPEAR – на других. Геомагнитные широты станций HAARP, HIPAS, Heating близки и равны, соответственно, $63^\circ 06' \text{N}$, $65^\circ 25' \text{N}$, $66^\circ 11' \text{N}$, а маломощный станция SPEAR находится на геомагнитной широте $76^\circ 05' \text{N}$.

Все сформулированные выше вопросы должны быть предметом серьезного рассмотрения.

Г. Функциональные связи и методология взаимодействия станций между собой (с учетом разнесения установок на Аляске от станций в Норвегии и на Шпицбергене по местному времени почти ровно на 12 часов) не известны, хотя они, безусловно, должны существовать. Это очень важный момент для понимания общей стратегии использования нагревных станций. Особый интерес вызывает принципиальная возможность одновременного функционирования всех станций. В научной литературе данный вопрос не исследовался. Поэтому высказанные ниже соображения являются, конечно, предварительными.

Одновременная работа станций в резных режимах (f_{H} , PG, непрерывное или импульсное излучение, частоты модуляции, «включение-пауза» и т.д.) может привести к глобальным возмущениям полярной ионосферы с последующим распространением этих возмущений на средние широты. Данная проблема носит не только прикладной, но и ярко выраженный экологический характер.

Во многих гелиогеомагнитных условиях все нагревные станции одновременно в принципе могут работать на частотах $f_{\text{H}} > f_{\text{H}} F_2$ (критической частоты области F2), и значительная часть энергии будет высвечиваться («уходить») в открытый космос. В этой ситуации возникает необходимость рассматривать далекие от геофизики и радиофизики вопросы, связанные с воздействием мощного электромагнитного излучения на функционирование, например, КА различного типа и назначения (прежде всего низкоорбитальных), проходящих через диаграммы направленности станций и, по-видимому, не только. Наибольший интерес вызывает проблема использования этих станций в качестве первого шага создания противоракетной обороны на новых физических принципах [3].

Детальное обсуждение сформулированных проблем далеко выходит за рамки настоящей статьи.

Заключение. Главный вывод из проведенного анализа состоит в том, что обсуждаемая проблема, несмотря на многолетние экспериментальные и теоретические исследования, по целому ряду принципиальных научных и прикладных вопросов далека от своего решения. Подключение в полярных районах к давно функционирующему нагревному станция Heating трех установок HAARP, HIPAS и SPEAR придает новые серьезные аспекты возможному использованию этих станций как в научных, так и в прикладных целях. Особо следует выделить вопросы оценки экологических последствий при одновременной работе всех нагревных комплексов на высоких широтах, а также влияние станций на различные оборонные системы.

Литература

1. Адушкин В. В., Козлов С. И. Это миф ... Или все-таки реальность? Критический взгляд на геофизическое оружие // Независимое военное обозрение. 2006. № 13.
2. Бегич Н., Мэннинг Д. Программа HAARP. Оружие Армагеддона. М.: Яуза. Эксмо. 2007.
3. Белкин В. А., Шушков А. В. ПРО США: решение в иной плоскости // Воздушно-космическая оборона. 2007. № 4, 5.
4. Библиографический указатель литературы «Воздействие мощным радионизлучением на ионосферную плазму». 1925 – 1979 гг.; 1979 – 1983 гг.; 1983 – 1985 гг.; 1986 – 1988 гг. Горький: НИРФИ. 1980. 1983. 1986. 1989.
5. Благоевская Н. Ф. Геофизические аспекты активных воздействий в околоземном космическом пространстве. СПб.: Гидрометеониздат. 2001.
6. Борисов Н. Д., Козлов С. И., Смирнова Н. В. Изменение химического состава средней атмосферы при многократном импульсном СВЧ-разряде в воздухе // Космические исследования. 1993. Т. 31. № 2. С. 63.
7. Гаврилов Б. Г., Зецер Ю. И., Киселев Ю. Н., Козлов С. И. Активные воздействия на околоземную среду // Модель космоса. Т. II. М.: Книжный дом университета. 2007. С. 855.
8. Гульельми А. В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // УФН. 2007. Т. 177. № 12. С. 1257.
9. Гуревич А. В. Нелинейные явления в ионосфере // УФН. 2007. Т. 177. № 11. С. 1145.

10. Гуревич А. В., Карлсон Х., Медведев Ю. В., Зыбин К. П. Ленгмюровская турбулентность в ионосферной плазме // Физика плазмы. 2004. Т. 30. № 12. С. 1071.
11. Елисеев Н. В., Козлов С. И., Смирнова Н. В. Возмущения в ионосфере при триггерных эффектах в условиях активных экспериментов в околоземном космическом пространстве // Космические исследования. 1992. Т. 30. № 3. С. 373.
12. Жигалин А. Д., Николаев А. В., Васюткина С. Д., Тихомиров С. Н. Эколого-геофизические аспекты использования нетрадиционного оружия // Геоэкология. 2007. № 6. С. 531.
13. Зецер Ю. И., Козлов С. И., Рыбаков В. А. и др. Свечение в видимом и инфракрасном диапазонах спектра возмущенной верхней атмосферы в условиях инжекции высокоскоростной плазменной струи. I. Экспериментальные данные // Космические исследования. 2002. Т. 40. № 3. С. 252.
14. Козлов С. И., Смирнова Н. В. Методы и средства создания искусственных образований в околоземной среде и оценка характеристик возникающих возмущений. I. Методы и средства создания искусственных возмущений // Космические исследования. 1992. Т. 30. № 4. С. 495.
15. Козлов С. И., Смирнова Н. В. Методы и средства создания искусственных образований в околоземной среде и оценка характеристик возникающих возмущений. II. Оценка характеристик искусственных образований // Космические исследования. 1992. Т. 30. № 5. С. 629.
16. Космические исследования (Специальные выпуски). 1993. Т. 31. № 1, 2.
17. Лавров Н. П., Зецер Ю. И. Активные эксперименты в ионосфере с использованием энергии радиоволн ВЧ диапазона // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. 7 / под общ. ред. Н. П. Лаврова. 2008. ИФЗ РАН. С.11.
18. Ляхов А. Н. О возможных последствиях смещения магнитных полюсов Земли // Динамика взаимодействующих геосфер. М.: ИДГ РАН. 2004.
19. Мироненко Л. Ф., Рапопорт В. О., Котик Д. С., Митяков С. Н. Излучение искусственных сверхсветовых неоднородностей нижней ионосферы // Известия вузов. Радиофизика. 1998. Т. 41. С. 298.
20. Насыров А. М. Рассеяние радиоволн анизотропными ионосферными неоднородностями. Казань: КГУ. 1991.
21. Осипов Н. К. Магнитосферно-ионосферные взаимодействия // Итоги науки и техники. Геомagnetизм и высокие слои атмосферы. М.: ВИНТИ. 1978. Т. 4.
22. Солодовников Г. К., Сипельников В. М. и др. Дистанционное зондирование ионосферы Земли с использованием радиомаяков космических аппаратов. М.: Наука. 1988.
23. Bernhardt, P. A., Scales, W. A., Grach, S. M., et al. Excitation of artificial airglow by high power radio waves from the «Sura» ionospheric heating facility // Geoph. Res. Lett. 1991. V. 18. P. 1477.
24. Buchner J. Theory and simulation of reconnection // Space sci. rev. 2006. V. 124. P. 345.
25. Coroniti, F. V., Space plasma turbulent dissipation // Space sci. rev. 1985. V. 42. P. 399.
26. Gustavsson, B., Sergienko, T., Rietveld, M. T., et al. First tomographic estimate of volume distribution of HF-pump enhanced airglow emission // J. Geoph. Res. 2001. V. 106. NA12. P. 2905.
27. James, H. G., Inan, U. S., Rietveld, M. T., Observations of ELF – VLF waves generated by ionosphere heater // J. Geoph. Res. 1990. V. 95. NA8. P. 187.
28. Kotik, D. S. ELF/VLF emissions generated in the ionosphere by heating facilities – a new tool for ionospheric and magnetospheric research // Известия вузов. Радиофизика. 1994. Т. 37. № 6. С. 715.
29. Milikh, G. M., Papadopoulos, K., Enhanced ionospheric ELF/VLF generation efficiency by multiple timescale modulated heating // Geoph. Res. Lett. 2007. V. 34. doi: 10.1029/2007 GL 031518.
30. Olson, J. V., Pi2 pulsations and substorm onsets: a review // J. Geoph. Res. 1999. V. 104. P. 17499.
31. Papadopoulos, K., Chang, C. L., et al. On the efficiency of ionospheric ELF generation // Radio Sci. 1990. V. 25. P. 1311.
32. Pokhotelov, D. W., Lotko, A. V., Streltsov, Simulations of resonant Alfvén waves generated by artificial HF heating of the auroral ionosphere // Ann. Geophys. 2004. V. 22. P. 2943.
33. Trakhtengerts, V. Y., Feldstein, A. Y., Turbulent Alfvén boundary layer in the polar ionosphere // J. Geoph. Res. 1991. V. 96. № 1. P. 363.

Поступила 8 июня 2010 г.

Fundamental and applied problems of powerful radiowaves impact on the ionosphere

© Authors, 2011

S. I. Kozlov, V. M. Sorokin

The most important up-to-date scientific and applied problems in the researches of powerful radio waves impact to the ionosphere have been formulated and substantiated based on the analysis of numerous theoretical and experimental works. The main emphasis of our review was placed on the four high latitude HF heating facilities: HAARP, HIPAS, SPEAR and Heating. The following scientific problems are discussed: (i) geophysical conditions for electron precipitation from the magnetosphere and the radiation belts; (ii) models for the powerful radio wave impact to the disturbed high latitude ionosphere; (iii) possibility of the air breakdown by HAARP at different altitudes; (iv) assessment of influence on phenomena in the ionosphere of the north magnetic pole displacement; (v) improvement of models for the radio waves propagation in the Earth – ionosphere waveguide and in the ground and water; (vi) experimental observation of the superluminal moving of interfering events image generated by closed located HAARP and HIPAS or Heating and SPEAR. Apart from the well known significant influence on radio wave propagation of the ionosphere disturbed by HF heating facilities there are exist the following applied problems: (i) possibility of the information transferring to the underground and underwater objects and their monitoring; (ii) assessment of the placement region of HF heating devices with different technical parameters; (iii) determination of optimum conditions to formation of the auroral perturbations; (iv) identification of the interaction between HF heating devices at its simultaneous actions. It is noted that HF heating facilities can be the means of influence on space devices and the first step for creation of anti-missile defense based on the new physical principles.

**ЭВ
&
ЭС****ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ
И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ****7'2011**www.radiotec.ru/**т. 16****В НОМЕРЕ :**

Научные и прикладные проблемы исследований воздействий мощных радиоволн на ионосферу Земли

Оптимизация паразитного отклонения фазы петли ИФАПЧ синтезаторов частот

Совмещенная система активно-пассивной локации

и др.



Тел./факс: (495) 625-9241
E-mail: info@radiotec.ru
[Http://www.radiotec.ru/](http://www.radiotec.ru/)