

**Федеральное агентство по науке и инновациям
Федеральное государственное научное учреждение
«Научно-исследовательский радиопизический институт»
(ФГНУ «НИРФИ»)**

Препринт № 509

**Исследование спорадического слоя E
по наблюдениям
методом резонансного рассеяния радиоволн
на искусственных периодических неоднородностях
ионосферной плазмы**

**Н. В. Бахметьева
В. В. Беликович**

**Нижний Новгород
2006**

Н. В. Бахметьева, В. В. Беликович

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОРАДИЧЕСКОГО СЛОЯ *E* ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЯНИЯ РАДИОВОЛН НА ИСКУССТВЕННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Препринт № 509.–Нижний Новгород: ФГНУ «НИРФИ»,
2006,–24 с.

УДК 551.510.535

Приведены результаты новых исследований спорадического слоя *E* при нагреве ионосферы мощным КВ радиоизлучением. Измерения выполнены на нагревном комплексе СУРА (ФГНУ «НИРФИ», г. Нижний Новгород). Наблюдения проводились 14–16 июля 2006 г. с 9:00 до 18:00 московского летнего времени с высотным разрешением 1,4 км и цифровой регистрацией квадратурных компонент рассеянного сигнала. Воздействие на ионосферу мощным КВ радиоизлучением станда СУРА и зондирование ее пробными волнами проводилось радиоволнами одной и той же частоты и поляризации. При нагреве ионосферы происходило образование искусственных периодических неоднородностей (ИПН) и наблюдалось увеличение интенсивностей всех сигналов, рассеянных областями *D*, *E*, *F* и спорадическим слоем *E* на 5–20 дБ. Это увеличение наблюдалось при нагреве ионосферы каждой магнитоионной компонентой, но при нагреве обыкновенной волной достигало меньших значений. Наблюдавшийся эффект являлся резонансным и при отстройке по частоте вниз на 85 кГц пропадал. Причиной роста сигналов при воздействии на ионосферу является модуляция естественного профиля электронной концентрации искусственной периодической структурой: синфазное сложение волн от ИПН увеличивает коэффициент отражения радиоволн от всех ионосферных слоев и областей. Эффект наблюдался впервые.

Введение

В работе [1] приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных в августе 2004 г., по изучению спорадического слоя E (E_s) и его неоднородной структуры при воздействии на ионосферу мощного КВ радиоизлучения нагревного стенда СУРА. В кругу задач по исследованию E_s эта проблема является одной из наименее изученных. К настоящему времени опубликовано не так много работ, посвященных экспериментальным исследованиям в этом направлении. Необходимо указать работы Гуревича и Шлюгера [2], где обнаружено увеличение частоты экранирования f_b и предельной частоты отражения f_o слоя E_s при нагреве на частоте, близкой к гирочастоте электронов, две работы Козлова с соавторами [3] по наклонному нагреву, в которых, напротив, сообщается о значительном уменьшении $f_o E_s$ при нагреве. В работе Фролова с соавторами [4] по вертикальному нагреву E_s на частоте, находившейся в диапазоне его полупрозрачности, сообщается об усилении интенсивности рассеянных спорадическим слоем пробных радиоволн и появлении искусственных флуктуаций зондирующего сигнала. Каган с соавторами [5] провели оптические измерения на нагревном стенде в Аресибо и обнаружили, что пространственная неоднородность наблюдавшегося при возмущении ионосферы искусственного зеленого свечения на длине волны 557,7 нм отражает горизонтальную структуру полупрозрачного E_s . Из краткого перечисления результатов этих работ следует, что вопрос о влиянии мощного радиоизлучения на спорадический слой E требует дальнейшего экспериментального изучения.

В последние годы для исследования неоднородной структуры ионосферы, в том числе спорадических слоев ионизации, активно применяется метод резонансного рассеяния на искусственных периодических неоднородностях ионосферной плазмы (метод ИПН). ИПН формируются в поле мощной стоячей радиоволны, образующейся в результате интерференции падающей на ионосферу и отраженной от нее волн [6]. Обычно измерения методом ИПН проводятся следующим образом. В каждом цикле измерений нагревный передатчик работает в непрерывном режиме несколько секунд, излучая волны необыкновенной поляризации. Затем он переводится в импульсный режим и излучает короткие импульсы той же частоты и поляриза-

ции с частотой повторения 50 или 100 Гц. Рассеянные сигналы принимаются после каждого зондирующего импульса, регистрируется их синусная и косинусная составляющие. Импульсное зондирование продолжается несколько секунд в период релаксации ИПН. Этот цикл повторяется несколько раз в минуту.

В эксперименте [1] эта схема измерений была несколько изменена, так как применялся дополнительный нагрев в режиме (+1,-2), то есть в течение одной минуты производился нагрев ионосферы, а две следующие минуты – пауза. Таким образом, в [1] создание и диагностика ИПН осуществлялись одним передатчиком стенда СУРА радиоволнами необыкновенной поляризации на частоте 4,7003 МГц, а дополнительный нагрев проводился двумя передатчиками на частоте 4,3003 МГц радиоволнами обыкновенной поляризации. Такая методика измерений позволила исследовать вопрос о влиянии дополнительного нагрева ионосферы на амплитуду и время релаксации сигнала, рассеянного ИПН, включая сигналы, рассеянные E_s .

При дополнительном нагреве амплитуда сигналов, рассеянных ИПН в E - и D -областях, уменьшалась на 10 дБ и более, иногда до полного пропадания сигнала. Это связано, вероятно, с уменьшением амплитуды отраженной волны при рассеянии падающей волны на неоднородностях плазмы (непериодических), возникающих вблизи точки отражения мощной волны при дополнительном подогреве, в результате чего амплитуда ИПН уменьшается, что соответственно приводит к уменьшению амплитуды рассеянного сигнала. Основной задачей применения метода ИПН в рамках эксперимента 2004 г. было исследование воздействия нагрева на спорадический слой E . Практически в течение всего времени наблюдений возмущение ионосферы проводилось на частоте, превышавшей предельную частоту отражения спорадического слоя f_oE_s . Методом ИПН регулярно наблюдались два разнесенных по высоте спорадических слоя (по максимальной амплитуде рассеянного от них сигнала) – на высоте 90 и 100–105 км. Оказалось, что амплитуда сигнала от E_s на высоте 90 км практически не менялась при дополнительном нагреве, в то время как амплитуда сигнала от E_s на высоте 100–105 км систематически уменьшалась в среднем на 10 дБ. В [1] обсуждались причины наблюдавшегося эффекта. Эксперименты в этом направлении были продолжены в июле 2006 г.,

при этом схема нагрева и диагностики ионосферы была существенным образом изменена.

1. Методика и условия проведения эксперимента

Экспериментальные исследования спорадического слоя E проводились с 14 по 16 июля 2006 г. на базе загородной лаборатории ФГНУ «НИРФИ» «Васильсурск» с 9:00 до 18:00 московского летнего времени. Как правило, в этот период наблюдались устойчивые спорадические слои ионизации – E_s .

В эксперименте проводилось исследование влияния нагрева ионосферы каждой из двух магнитоионных компонент на спорадический слой E , а также исследование ИПН при воздействии на ионосферу (нагреве ионосферы) обыкновенной (O) и необыкновенной (X) компонентами мощной радиоволны. Создание ИПН и диагностика ионосферы проводились на частоте 4,785 МГц.

Была использована следующая оригинальная схема нагрева (см. рис.1): для создания ИПН воздействие на ионосферу осуществлялось импульсами длительностью 24 мс с паузами 16 мс. Во время паузы с задержкой 12 мс излучался короткий диагностический импульс длительностью 30 мкс. В течение последующих 4 мс регистрировались сигналы, отраженные и рассеянные ионосферными слоями.

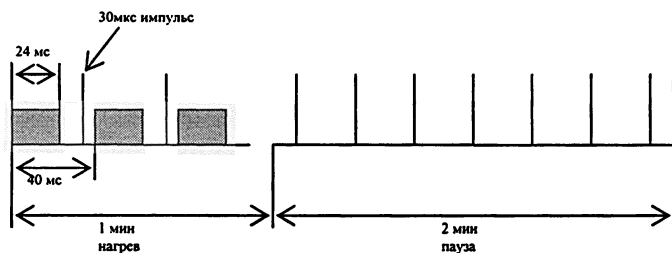


Рис. 1. Схема нагрева ионосферы, создания и диагностики ИПН

Такой нагрев проводился периодически в режиме 1 минута – нагрев, 2 минуты – пауза. Во время двухминутной паузы стенд СУРА излучал диагностические импульсы длительностью 30 мкс с частотой повторения 50 Гц. В течение двух дней – 14 и

15 июля, а также части дня 16 июля нагрев проводился радиоволнами Х-поляризации, затем 16 июля в течение почти двух часов – радиоволнами О-поляризации. Регистрировались обе магнитоионные компоненты рассеянных сигналов. В экспериментах по исследованию ИПН такой режим нагрева и диагностики был использован впервые. С помощью 12-разрядного АЦП отраженные от ионосферы сигналы в цифровом виде регистрировались в квадратурах, что позволяло определить амплитуду и фазу рассеянного сигнала. Контроль состояния ионосферы проводился каждые 6 минут с помощью автоматической ионосферной станции «Базис». Пример зависимости от времени частотных характеристик E_s за один из дней наблюдений приведен на рис.2.

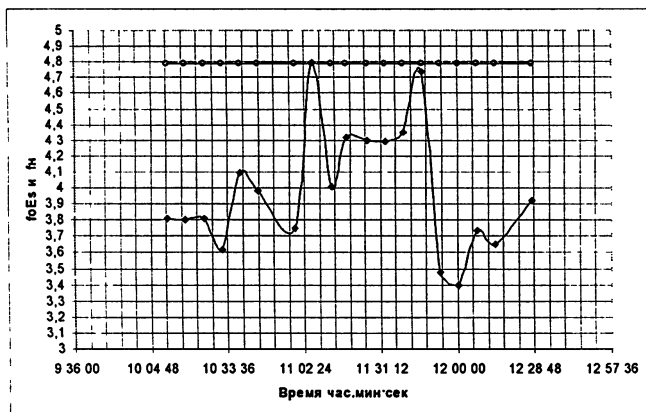


Рис. 2. Зависимость предельной частоты отражения спорадического слоя E (точки, нижняя кривая) и частота нагрева (кружки, верхняя прямая линия) за 16.07.2006

2. Изменение амплитуд рассеянных сигналов при нагреве ионосферы радиоволной необыкновенной поляризации

При нагреве ионосферы Х-компонентой мощной радиоволны наблюдались рассеянные сигналы от искусственных периодических неоднородностей в D - и E -областях, возникающие в поле стоячей волны, образующейся при отражении от ионосферы мощной радиоволны стенда СУРА, зеркальный сигнал от F -области, сигналы, рассеянные спорадическим слоем E и другими естественными крупномасштабными неоднородностями в

E-области. Заметим, что все типы сигналов, кроме сигналов от ИПН, наблюдались и во время паузы в работе стенда.

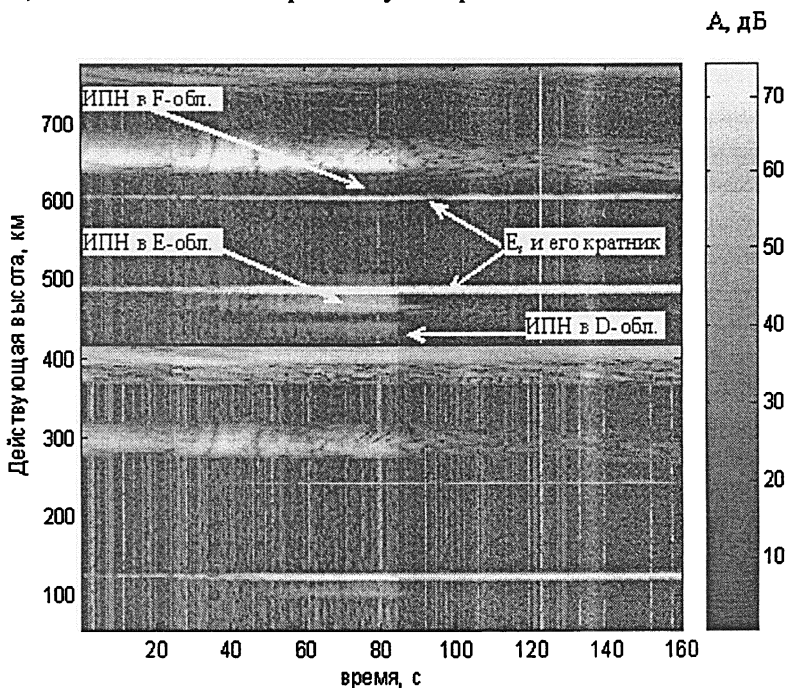


Рис. 3. Пример яркостной записи рассеянного сигнала 16.07.2006 в трехминутном сеансе 11:01:39-11:04:39

На рис. 3 в координатах «действующая высота (в километрах) – время (в секундах) – амплитуда сигнала (в децибеллах)» приведен пример яркостной регистрации сигнала за время одного трехминутного сеанса. На верхней панели показана регистрация принятых сигналов Х-поляризации, на нижней – О-поляризации. Период нагрева, длительностью в одну минуту, показан черной линией на оси, разделяющей панели.

На верхней панели показаны все основные сигналы, наблюдавшиеся в эксперименте. Толстый слой на действующей высоте ~ 630–680 км (верхняя панель) означает зеркальное отражение частоты $f=4,785$ МГц в Х-компоненте от *F*-области ионосферы, расположенный выше него более тонкий слой – отражение от *F*-области сигнала О-компоненты, подавленного при-

близительно на 17 дБ. По окончании минутного нагрева хорошо видна релаксация сигнала от ИПН в нижней ионосфере – D - и E -областях.

Основным результатом воздействия на ионосферу явилось увеличение при нагреве интенсивностей всех типов сигналов (см. рис. 3) на 5–20 дБ. Это увеличение наблюдалось при нагреве каждой магнитоионной компонентой, но при нагреве волной O -поляризации достигало меньших значений.

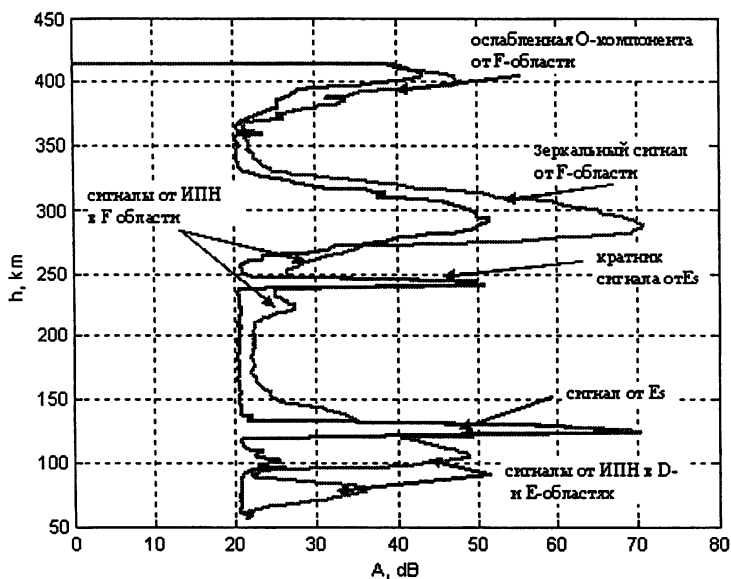


Рис. 4. Высотный профиль амплитуды принятого сигнала в X -компоненте при нагреве (черный профиль) и в паузе (серый профиль). На высотах 90–110 км во время паузы присутствуют слабые сигналы от естественных ионосферных неоднородностей или слабых E_s , которые хорошо видны на яркостной записи рис. 3

На рис. 4 приведен высотный профиль амплитуды принятого сигнала, иллюстрирующий характер влияния нагрева на зарегистрированные сигналы. Здесь амплитуды сигнала от E_s и зеркального сигнала от F -области выходят за пределы динамического диапазона приемника и на самом деле превышают уровень в 70 дБ.

Эффект увеличения при нагреве интенсивности всех отражений в нашем эксперименте наблюдался впервые и является безусловно новым в исследовании ИПН. Причиной такого роста сигналов при нагреве может быть модуляция естественного профиля электронной концентрации искусственной периодической структурой. Синфазное сложение волн от ИПН увеличивает коэффициент отражения радиоволн от всех ионосферных слоев и областей, так как при создании ИПН и их зондировании на одной и той же частоте и компоненте условия пространственного синхронизма, необходимые для образования ИПН, выполняются во всей толще ионосферы, в результате ИПН образуются везде, где есть электронная концентрация. По окончании минутного нагрева на рис. 3 хорошо видна релаксация сигнала от ИПН в нижней ионосфере – D - и E -областях. Поскольку время образования и релаксации ИПН в разных областях ионосферы составляет от 0,1 секунды до нескольких секунд [6], то в течение паузы длительностью 16 мс, следующей за нагревом длительностью 24 мс, ИПН не успевают релаксировать и наблюдаются поэтому в течение всего времени воздействия (одна минута).

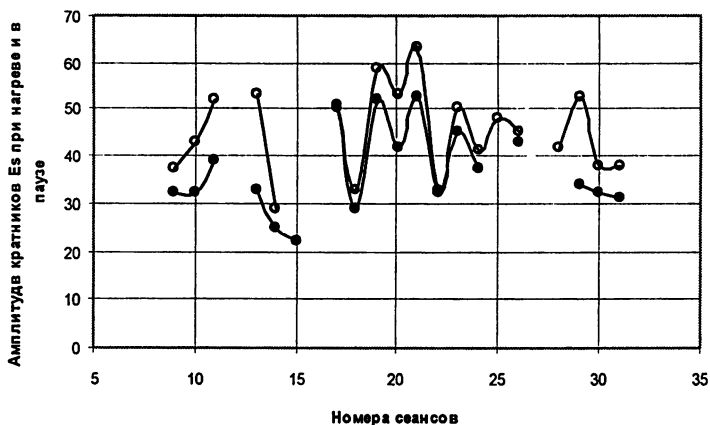


Рис. 5. Зависимость от времени (номера сеанса) амплитуды кратного отражения от E_s

На рис. 5 дана зависимость амплитуды первого кратника от спорадического слоя E , то есть сигнала, дважды отразившегося от E_s , от номера сеанса измерений для 16.07.2006 при на-

греве на X-компоненте. Верхняя кривая (кружки) показывает амплитуды сигналов при нагреве, нижняя (точки) – во время паузы. Видно, что амплитуда кратного сигнала от E_s также увеличивалась во время нагрева на 5–20 дБ.

В процессе измерений был поставлен вопрос о резонансном (по частоте) характере эффекта увеличения амплитуд сигналов во время нагрева. Для решения этого вопроса 16.07.2006 при нагреве на X-компоненте в течение нескольких сеансов измерений на приеме отстраивались от частоты нагрева, равной 4,785 МГц, вниз на 30, 65 и 85 кГц, в результате чего частота приема становилась равной 4,700 МГц. Получено, что при отстройке на приеме по частоте от частоты нагрева амплитуды всех сигналов в среднем последовательно уменьшались, а при отстройке на 85 кГц сигнал от ИПН пропал совсем. В этом случае принимались только более слабые по интенсивности отражения от E_s и F -области. Таким образом, наблюдавшийся при нагреве ионосферы эффект является резонансным и связан с влиянием ИПН.

3. Наблюдение ИПН при нагреве ионосферы радиоволной обыкновенной поляризации

В эксперименте 2006 г. наблюдалось образование ИПН при нагреве ионосферы мощной радиоволной O-поляризации 16.07.2006 г. с 15:30 до 17:00. Диагностика проводилась на той же частоте – 4,785 МГц и обеих поляризациях пробной волны. Заметим, что в этом случае на приеме в X-компоненте ИПН наблюдаться не должны, так как при создании и регистрации ИПН на одной частоте поляризации нагревной и диагностической волн должны совпадать [6].

Особенностью этих наблюдений является то обстоятельство, что при нагреве O-компонентой в течение двух часов наблюдались небольшие (не более 30 дБ при уровне шума 18–20 дБ) сигналы от ИПН в E -области, эпизодически очень слабые сигналы от ИПН в D -области и в течение приблизительно полчаса с 16:00 до 16:30 интенсивные до 40–50 дБ сигналы от ИПН в F -области.

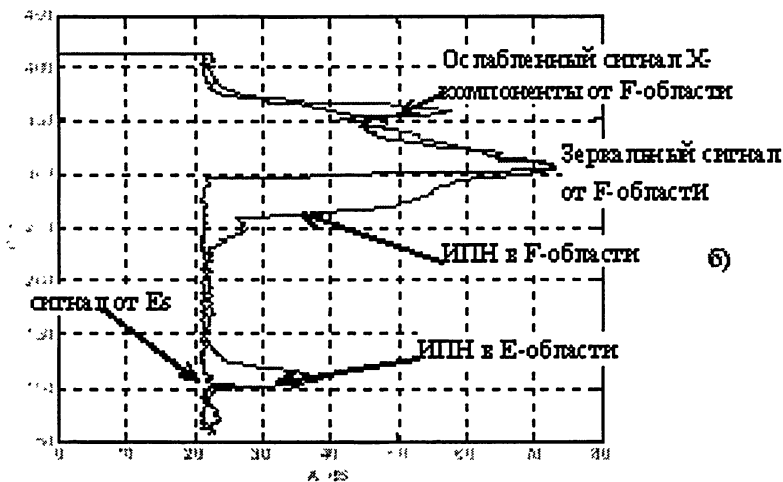
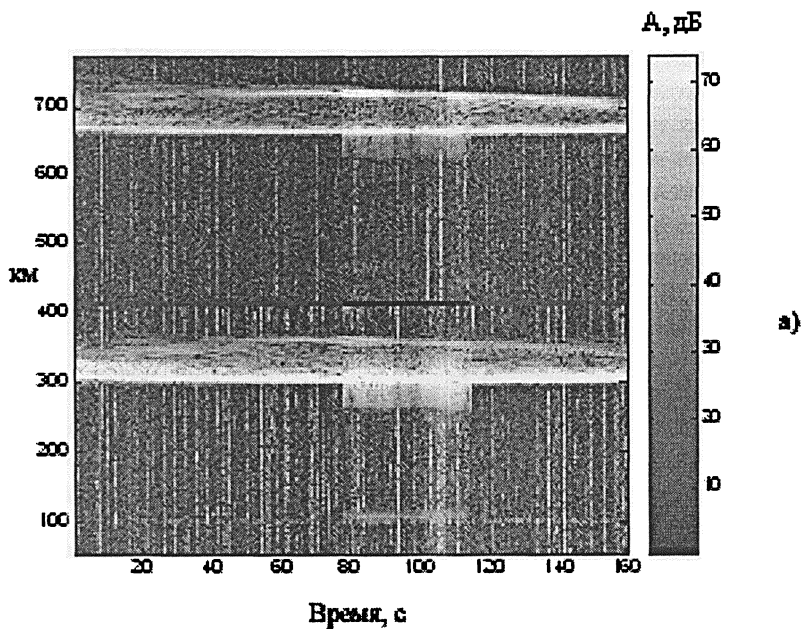


Рис. 6. Пример наблюдения ИПН при нагреве O-компонентой
 16.07.2006 в сеансе 16:13:26-16:16:26: а) – яркостная запись сигнала,
 б) – высотный профиль амплитуды

Малая величина амплитуды сигналов от ИПН в нижней ионосфере обусловлена тем, что при нагреве на О-компоненте возбуждается тепловая параметрическая неустойчивость (ТПН) и образуются мелкомасштабные неоднородности [7]. В этом случае основная часть мощности нагрева теряется вблизи точки отражения мощной волны. Следствием этого является уменьшение амплитуды стоячей волны, в результате амплитуда ИПН в нижней ионосфере значительно уменьшается. Соответственно и амплитуда сигнала, рассеянного ИПН, в этом случае уменьшается по сравнению с нагревом на Х-компоненте. Этот эффект проявился в проведенном эксперименте.

В качестве иллюстрации данного эффекта на рис. 6а,б) приведен характерный пример наблюдения ИПН при нагреве мощной радиоволной О-поляризации. Напомним, что на приеме регистрировались обе магнитоионные компоненты рассеянных сигналов. Темной полосой на оси, разделяющей верхнюю и нижнюю панели рис. 6а), показан период нагрева. На нижней панели рис. 6а) показан принятый сигнал в О-компоненте, на верхней – в Х-компоненте. Виден слабый E_s на высоте 100 км, ИПН в E -области и интенсивный сигнал от ИПН в F -области. ИПН в F -области занимали интервал действующих высот около 50 км, что хорошо видно на яркостной записи. Приблизительно в середине нагрева интенсивность зеркального сигнала от F -области упала, так как выключился один из передатчиков стенда СУРА, и это сразу отразилось на интенсивности сигнала от ИПН. На верхней панели в О-компоненте видны ослабленные сигналы Х-компоненты. На высотных профилях амплитуды (рис. 6б) также хорошо видно увеличение амплитуд сигналов при нагреве.

4. Фильтрующее действие E_s

В эксперименте наблюдалось интересное явление, которое заключалось в том, что при нагреве ионосферы мощной волной Х-поляризации ИПН в нижней ионосфере (D - и E -областях) наблюдались на приеме Х-компоненты, а в F -области – на приеме О-компоненты (рис. 7). Часто при этом наблюдался толстый диффузный E_s на высотах 100–120 км и тонкий «подслонный» E_s на высоте порядка 85–90 км.

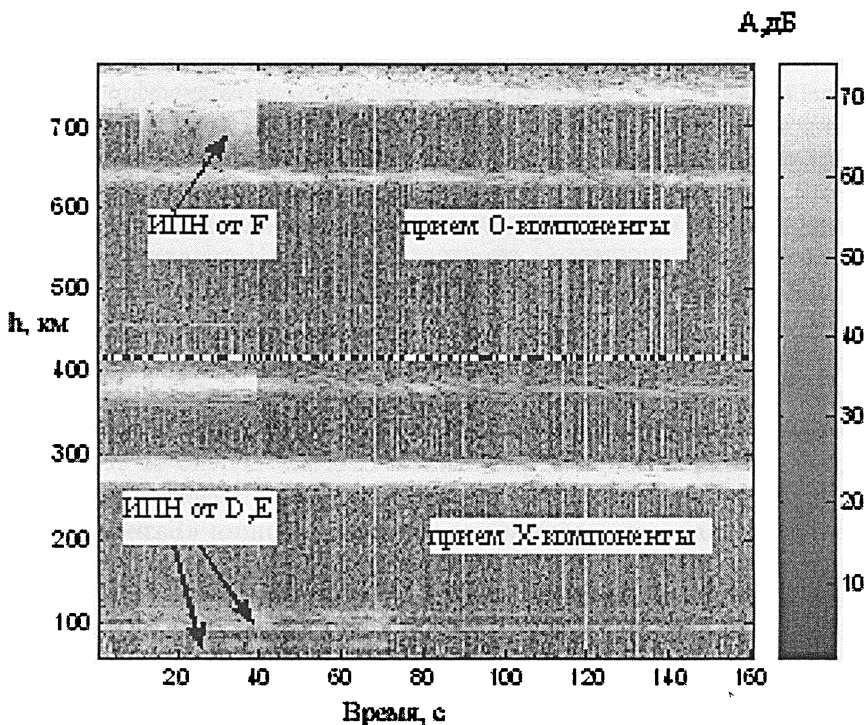


Рис. 7. Пример регистрации ИПН для 15.07.2006, где сигнал от ИПН в *D*- и *E*-областях зарегистрирован в *X*-компоненте, а сигнал от ИПН в *F*-области – в *O*-компоненте. Здесь регистрация в *O*-компоненте показана на верхней панели, в *X*-компоненте – на нижней панели.

Так как выполнение условий синхронизма для образования и диагностики ИПН на одной и той же частоте требует идентичности поляризаций нагревной и пробной радиоволн [6], то становится ясно, что при регистрации в *O*-компоненте сигнала от ИПН в *F*-области на самом деле мы видим сигнал от ИПН, возникающих при нагреве ее ослабленной (приблизительно на 14,5 дБ согласно развязке компонент стенда СУРА) радиоволной *O*-поляризации. Оценки, сделанные для работы двух передатчиков стенда на частоте 4,785 МГц (в этот день нагрев производился двумя передатчиками с общей излучаемой эффективной мощностью порядка 65 МВт), показывают, что с учетом поляризационной развязки компонент в этом случае на подав-

ленную О-поляризацию должно было приходиться около 2,6 МВт излучаемой мощности. Этого, видимо, достаточно для образования ИПН. Заметим, что в данном эксперименте производился нагрев F -области, причем в условиях сравнительно небольшого поглощения. Косвенным признаком последнего является наличие множественных так называемых М-отражений при вертикальном распространении, особенно интенсивных в О-компоненте. Оценки по кратникам E_s дают величину поглощения в разных сеансах наблюдений около 2,5 дБ.

Почему же в случае наблюдения ИПН в F -области в О-компоненте пробной волны при нагреве ионосферы ослабленной О-компонентой нагревной волны мы не видим ИПН в F -области в Х-компоненте, если излучаемая мощность нагрева для Х-поляризации в 25 раз выше? Всего выделено 15 сеансов, в которых зарегистрирован этот необычный эффект. Во всех этих случаях и по данным ионосферной станции «Базис», и по наблюдениям методом ИПН на высотах 100–120 км располагался довольно толстый диффузный слой E_s с предельной частотой отражения $f_oE_s \approx 3,7-4,4$ МГц. Критическая частота F -слоя для О-компоненты составила в этих сеансах $f_oF2 \approx 4,9-5,4$ МГц. Мощная волна отражалась несколько ниже максимума F -области. Таким образом, по отношению к E_s нагрев проводился «на просвет».

Получено, что с ростом амплитуды сигнала от E_s эффект возрастания ИПН при регистрации в О-компоненте увеличивался. С ослаблением E_s картина рассеяния восстанавливалась: сигналы, рассеянные ИПН, в Х-компоненте наблюдались от всех областей ионосферы.

Этот результат можно объяснить своего рода фильтрующим действием E_s по отношению к разным магнитоионным компонентам мощной волны. Для пробной волны О-поляризации слой E_s является более прозрачным, чем для волны Х-поляризации (поглощение О-компоненты меньше). Это объясняет появление рассеянных сигналов от ИПН в F -области при регистрации рассеянного сигнала в О-компоненте. Подтверждением этому является тот факт, что рассеянный сигнал от E_s всегда имел меньшую интенсивность в О-компоненте, что свидетельствует о большей прозрачности слоя для данной компоненты.

Проанализируем в этой связи рис. 6 и 7. Показанная на рис. 6а) яркостная запись относится к нагреву двумя передатчиками (эффективная излучаемая мощность 65 МВт), а яркостная запись на рис. 7 – к нагреву тремя передатчиками (эффективная излучаемая мощность 150 МВт). В сеансе нагрева, показанном на рис. 7, в середине нагрева упала интенсивность принятых сигналов из-за внезапного выключения одного передатчика и сигнал от ИПН в F -области на O -компоненте пропал. При этом заметим, что на яркостной записи рис. 7 видны два тонких относительно слабых спорадических слоя на высотах приблизительно 100 и 115–120 км и ярко выраженные в X -компоненте сигналы от ИПН в D -и E -областях. Отметим, что при очень слабых тонких E_s (которые даже не регистрируются станцией «Базис») и нагреве двумя передатчиками такой эффект не наблюдался (см. рис. 8).

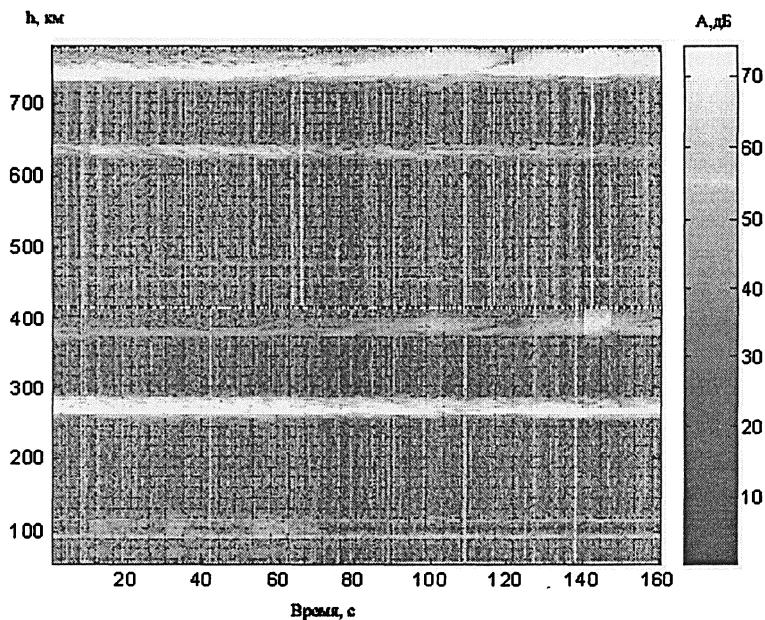


Рис. 8. Пример регистрации сигналов, рассеянных ИПН, 15.07.2006 в сеансе 13:04:51 при нагреве с эффективной мощностью 65 МВт при существовании двух тонких сравнительно слабых спорадических слоев. При нагреве появляются слабые рассеянные сигналы от ИПН в D - и E -областях

С другой стороны, пропадание сигнала на приеме O -компоненты в F -области при уменьшении мощности нагрева говорит о том, что можно предложить и другой механизм появления подобных сигналов при отсутствии их в X -компоненте. Этот механизм связан с образованием при нагреве вблизи уровня отражения мощной волны O -поляризации искусственных периодических неоднородностей не за счет стрикционной силы [6], а за счет локального нагрева. Периодичность структуры в этом случае обусловлена особенностями отражения мощной волны [8]. Поэтому даже относительно слабый нагрев (O -компонента ослаблена на 14,5 дБ при нагреве радиоволной X -поляризации) может дать наблюдавшийся эффект.

5. Влияние спорадического слоя E на сигналы, рассеянные ИПН

С точки зрения влияния спорадических слоев на характеристики сигналов, рассеянных ИПН, отметим следующее. Кроме уже приведенных выше данных о наблюдении E_s , в течение всех трех дней наблюдались спорадические слои с максимумом амплитуды сигнала от них обычно на двух высотах — 90 (или 105–110 км) и 100 (или 115–120 км), которые не мешали наблюдать ИПН от других областей ионосферы. С ростом критической частоты слоя сигналы от ИПН на высотах нижней ионосферы (ниже E_s) усиливались, а сигналы от ИПН в F -области соответственно ослабевали. Это ожидаемый и понятный эффект. Интересным здесь является то, что при усилении всех сигналов при нагреве (см. выше) часто происходило разделение (расслоение) как нижнего, так и верхнего E_s на два близлежащих слоя («слоичика»). Вероятно, на самом деле непосредственно нагрев на эти расслоения не влияет, просто в силу роста амплитуд всех отражений делает их более заметными. Разность высот таких «слоичиков» невелика (1–3 км), возможно, она обусловлена образованием E_s из разных сортов металлических ионов, у которых высоты максимума концентраций несколько отличаются.

Для примера на рис. 9 и 10 показаны два интересных сеанса с разнообразной структурой рассеянных сигналов в виде яркостных записей — 9,10а) и соответствующих им высотных

профилей амплитуд рассеянных сигналов $-9,106$). В сеансе 13:04:50 за 14.07.2006 (рис. 9) приведен пример двухслойного E_s , причем амплитуда сигнала от верхнего E_s при нагреве заметно (на 10 дБ) больше, чем нижнего, амплитуда от нижнего спорадического слоя изменилась мало – увеличилась на 3–4 дБ. В этом сеансе (и в значительной части других) структура рассеянного сигнала в E -области была достаточно сложной: можно сказать, что в интервале высот 100–130 км наблюдался сигнал, соответствующий «расслоению» верхнего E_s . При нагреве появлялись ИПН и сигналы, в том числе и от «расслоений» E_s , возрастали.

В сеансе 13:22:50 за 14.07.2006 (рис. 10) приведен другой пример двухслойного E_s . Здесь в паузе амплитуда сигнала от верхнего E_s всего на 5 дБ превышала уровень шума, при нагреве происходил значительный рост (более чем на 15 дБ) сигнала от E_s на фоне сильного рассеянного сигнала от ИПН в E -области. Амплитуда сигнала от мощного нижнего слоя выросла менее значительно – на 7 дБ.

Таким образом, при нагреве ионосферы на частоте ниже критической частоты F -области, но «на просвет» по отношению к E_s , изменения амплитуды рассеянного сигнала от нижнего и верхнего E_s существенно отличались по величине, хотя знак этих изменений одинаков для обоих слоев: амплитуда сигнала при нагреве возрастала. Если эти различия связаны с влиянием разных сортов металлических ионов (например, верхние слои образованы преимущественно сгонкой ионов Fe^+ , а нижние – например сгонкой Na^+ и Mg^+), то это обстоятельство должно отразиться на высотной зависимости времени релаксации сигнала, рассеянного ИПН [1,6].

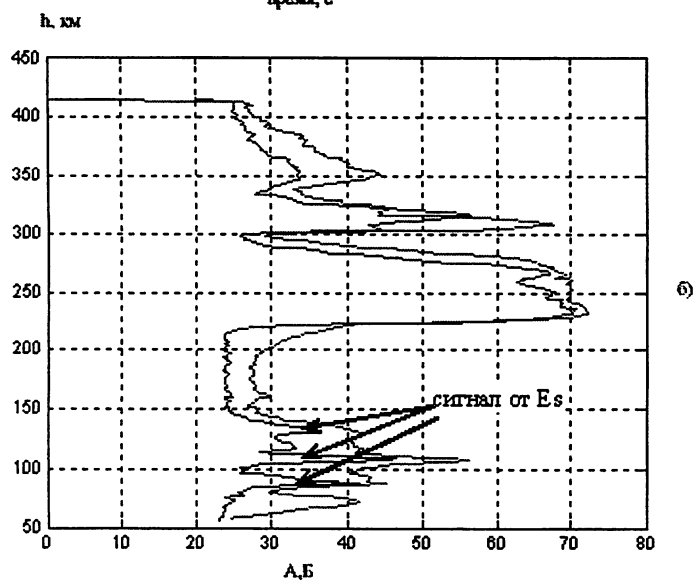
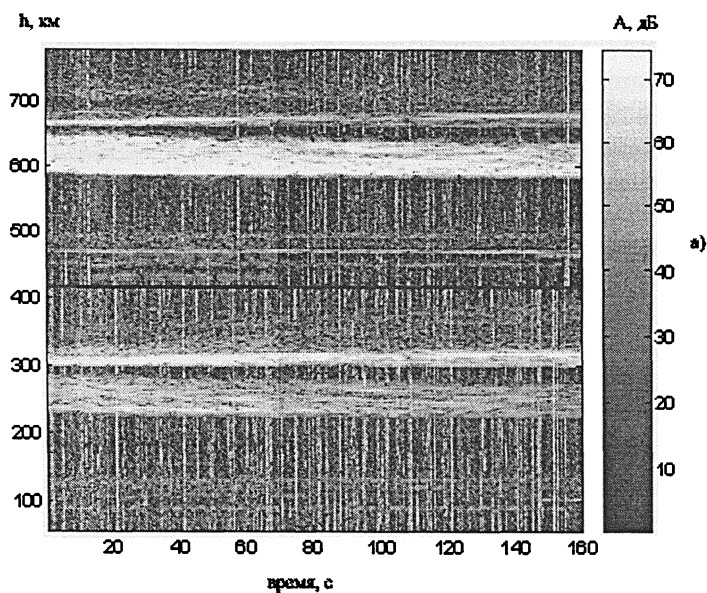


Рис. 9. Пример сложной многослойной структуры E_s в сеансе 13:04:50 14.07.2006

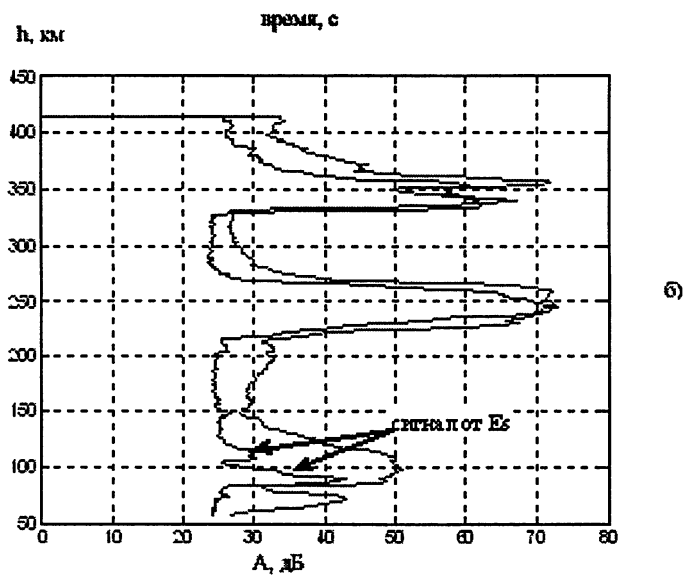
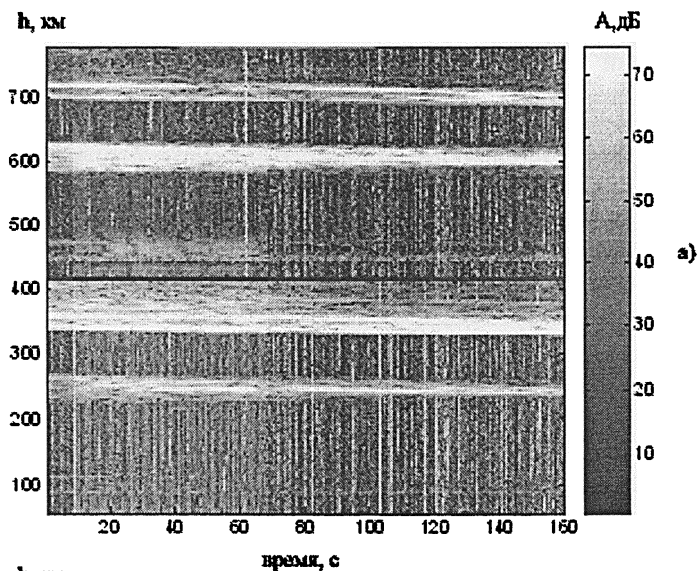


Рис. 10. Пример двухслойного E_s в сеансе 13:22:50 14.07.2006

На рис. 11 для примера показано высотное распределение концентраций некоторых металлических и преобладающих атмосферных ионов NO^+ и O_2^+ по данным [9,10] для ночных условий.

Даже в том случае, когда слои образованы сгонкой ионов одного сорта, их сложное распределение по высоте может повлиять на высотную зависимость амплитуды и времени релаксации сигнала, рассеянного ИПН.

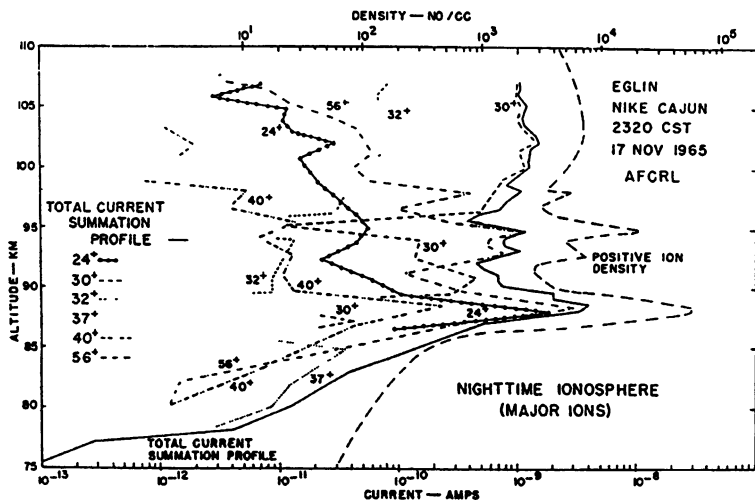


Рис. 11. Распределение концентраций некоторых металлических и преобладающих атмосферных ионов NO^+ и O_2^+ по высоте по спектрометрическим данным [9,10]

Для более аккуратного анализа полученных эффектов, а также для оценки молекулярной массы и концентрации металлических и преобладающих атмосферных ионов на высотах E , в дальнейшем будут совместно проанализированы результаты измерений времени релаксации ИПН и скорости вертикального движения плазмы, определяемой по измерению фазы рассеянного сигнала (см. [6]).

Выводы

Проведены новые исследования спорадических слоев ионизации при нагреве ионосферной плазмы мощным радиоизлучением стенда СУРА с диагностикой методом ИПН.

Основным результатом явилось возрастание во время нагрева амплитуд всех типов сигналов в среднем на 5–20 дБ. Это новый эффект, который впервые наблюдался в экспериментах по исследованию ИПН. Эффект наблюдался на принимаемых сигналах обеих магнитоионных компонент, носил резонансный характер по частоте и был более выражен при приеме сигнала Х-поляризации.

В эксперименте зарегистрировано также образование ИПН радиоволнами О-поляризации.

Обнаружено фильтрующее действие (влияние) E_s по отношению к разным магнитоионным компонентам при образовании ИПН. Рассмотрен возможный механизм этого влияния.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проектам № 04-05-64140 и № 05-05-64111.

Список литературы

1. Бахметьева Н.В., Беликович В.В., Каган Л.М., Понятов А.А., Толмачева А.В., Келли М.К., Николлс М. Дж. Новые результаты исследования нижней ионосферы методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях // Изв. вузов. Радиофизика. 2005. Т. 48. № 9. С.757–771.
2. Гуревич А.В., Шлюгер И.С. Исследование нелинейных явлений при распространении мощного импульса в нижних слоях ионосферы // Изв. вузов. Радиофизика. 1975. Т. 18. № 9. С.1237–1260.
3. Козлов С.И., Крохмальников Е.Б., Новожилов В.И. и др. Поведение спорадического слоя E в электромагнитном поле сильной радиоволны // Геомагнетизм и аэрономия. 1977. Т.17. № 3. С.433–436; № 4. С.639–644.
4. Фролов В.Л., Каган Л.М., Комраков Г.П. и др. Результаты воздействия мощным коротковолновым радиоизлучением на спорадический слой E ионосферы // Изв. вузов. Радиофизика. 2002. Т. 45. № 12. С.999–1010.
5. Kagan L.M., Kelly M.C., Garsia F., et al. The structure of electromagnetic wave-induced 557.7-nm emission associated with a sporadic- E event over Arecibo // Phys. Rev. Lett. 2000. V.85. P. 218–221.
6. Бенедиктов Е.А., Беликович В.В., Толмачева А.В., Бахметьева Н.В. Исследование ионосферы с помощью искусственных периодических неоднородностей. – Н. Новгород: ИПФ РАН, 1999. 156 с.
7. Гуревич А.В., Шварцбург А.Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. – М.:Наука, 1973. 272 с.
8. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М.:Наука, 1967. 683 с.
9. Narcisi, R.S. and A.D. Bailey. Mass spectrometer measurements of positive ions at altitudes from 64-112 km // J. Geophys.Res. 1965.V.70. P. 3687–3700.
10. Narcisi, R.S., Bailey, A.D., Wlodyka, L.E., Philbrick,C.R. Ion composition measurements in the lower ionosphere during the November 1966 and March 1970 solar eclipse // JASTP.1972. V.34. P. 647–658.

Бахметьева Наталия Владимировна
Беликович Витольд Витальевич

Исследование спорадического слоя E
по наблюдениям методом резонансного рассеяния радиоволн
на искусственных периодических неоднородностях
ионосферной плазмы

Подписано в печать 05.12.06. Формат 60x84/16
Бумага писчая. Объем 1,37 усл.п.л.
Заказ 5562. Тираж 50. Бесплатно

Отпечатано в ФГНУ «НИРФИ»
Г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25