



МОДИФИКАЦИЯ ОБЛАСТИ F_2 ИОНОСФЕРЫ НАКЛОННО ПАДАЮЩЕЙ МОЩНОЙ РАДИОВОЛНОЙ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Калинин Ю.К., Репин А.Ю., Хотенко Е.Н.

Излагаются результаты отдельных экспериментов в 1969-2014 г. по модификации области F_2 нелинейным воздействием мощной наклонно падающей радиоволной декаметрового диапазона. Использовались передатчики со средней мощностью 500 кВт и антенны с большим выигрышем, а также мощный радар с электронной перестройкой по частоте и азимуту излучения. Было установлено, что создание в вершине первого скачка напряжённости поля порядка 0,1 В/м увеличивает МПЧ области F_2 на 5-7 процентов. При последовательном увеличении частоты мощной волны удавалось в дневное время увеличивать МПЧ на 25%. В ночное время удавалось сохранять дневные значения МПЧ в 1,5-2 раза превышающие невозмущённые ночные значения. Изучались также вариации пробной волны, проходящей через область возмущения ионосферы и некоторые другие схемы регистрации возмущения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИОНОСФЕРА, МОЩНАЯ РАДИОВОЛНА, УВЕЛИЧЕНИЕ МПЧ, ПРОБНАЯ РАДИОВОЛНА, ПЕРЕСЕКАЮЩИЕСЯ РАДИОТРАССЫ

1 ВВЕДЕНИЕ

К середине прошлого века по мере развития радиотехнических систем коротковолнового вещания и связи при использовании мощных радиопередатчиков попутно были обнаружены различные нелинейные эффекты. К их числу относились кроссмодуляция (так называемый Люксембург-Горьковский эффект), самодействие радиоволн [Альперт, 1979; Гуревич и др. 1973]. Позднее получило развитие направление исследования ионосферы на основе вертикального воздействия мощной радиоволны. Далее, в РФ впервые в мировой практике были поведены специализированные исследования нелинейных эффектов в ионосфере на основе наклонного излучения мощной радиоволны. Первоначально здесь доминирующим направлением исследований стали эксперименты, проводившиеся НИИ дальней радиосвязи по увеличению МПЧ области F_2 ионосферы. Для воздействия на ионосферу почти всегда использовались штатные средства Южного и Московского радиоцентров (ЮРЦ и МРЦ). А именно передатчики «Боб» средней мощностью 500 кВт и остронаправленные антенные системы, использующие отражатели в виде фрагментов параболического цилиндра. Исключением явилось использование в 1972–1974 гг. опытного образца мощного радара (ООР) декаметрового диапазона. Для индикации результатов воздействия применялись различные схемы вертикального, наклонного и возвратно-наклонного зондирования ионосферы (ВЗ, НЗ, ВНЗ). Ниже эти результаты приводятся в хронологической последовательности.

2 ПЕРВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ МПЧ

Осенью 1969 г. в дневное время с ЮРЦ, проводилось излучение на частоте ~ 12 МГц мощной радиоволны. Направление излучения – на Москву. Расчётная длина «скачка» волнового пучка в тех геофизических условиях составляла примерно 2000 км, что подтверждалось величиной задержки сигналов ВНЗ ионосферы. Вершина скачка располагалась над Москвой. В дневное время осуществлялось четырёхкратное последовательное включение передатчика на 20 мин с последующей паузой 40 мин. Различные результаты данного эксперимента, а также других исследований по наклонному нагреву ионосферы мощной радиоволной, были опубликованы в работах [Акимов и др., 1987; Калинин Ю.К. и др., 2006]. Основным результатом эксперимента 1969 года состоял в появлении на ионограммах ВЗ, регистрировавшихся автоматической ионосферной станцией (АИС), расположенной в городе Троицке (в настоящее время — Новая Москва), аномальных треков в периоды 5–10 мин после включения мощного передатчика, см. рис. 1. Аномальные треки (красная окраска) исчезали через 20–30 мин после его включения. Треки, с одной стороны, свидетельствовали о возрастании критической частоты области F_2 – величины f_0F_2 на величину δf_0F_2 , составляющую примерно 5–7 % от невозмущённого значения. С другой стороны, падающие участки зависимости высоты от частоты на дополнительных треках свидетельствовали о расслоении области F_2 ионосферы. На рисунке 1 представлены типовые схемы ионограмм в период естественного состояния ионосферы и в период воздействия мощной радиоволны.

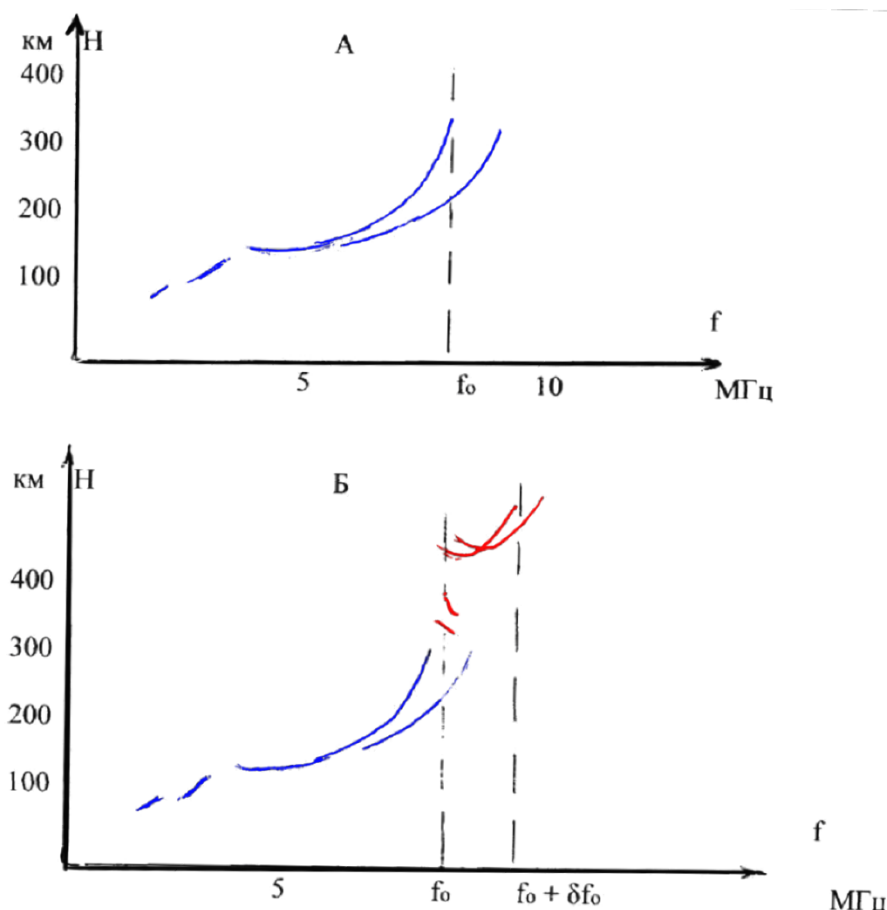


Рис.1. Ионограммы спокойной (А) и возмущённой (Б) ионосферы, зарегистрированные в средней точке трассы (Подмосковье, ныне город Троицк). Аномальные треки на ионограмме Б окрашены в красный цвет.

На рисунке 2 представлены соответствующие приведенным ионограммам участки профилей электронной концентрации $n_e(h)$ с «долиной» в интервале высот $\Delta h \sim 250-300$ км. Уменьшение плазменной частоты в «долине» не менее 8 %, и соответственно оценка отрицательной вариации электронной концентрации в искусственно создаваемой долине $\frac{\Delta n_e}{n_e} \approx 0,16$.

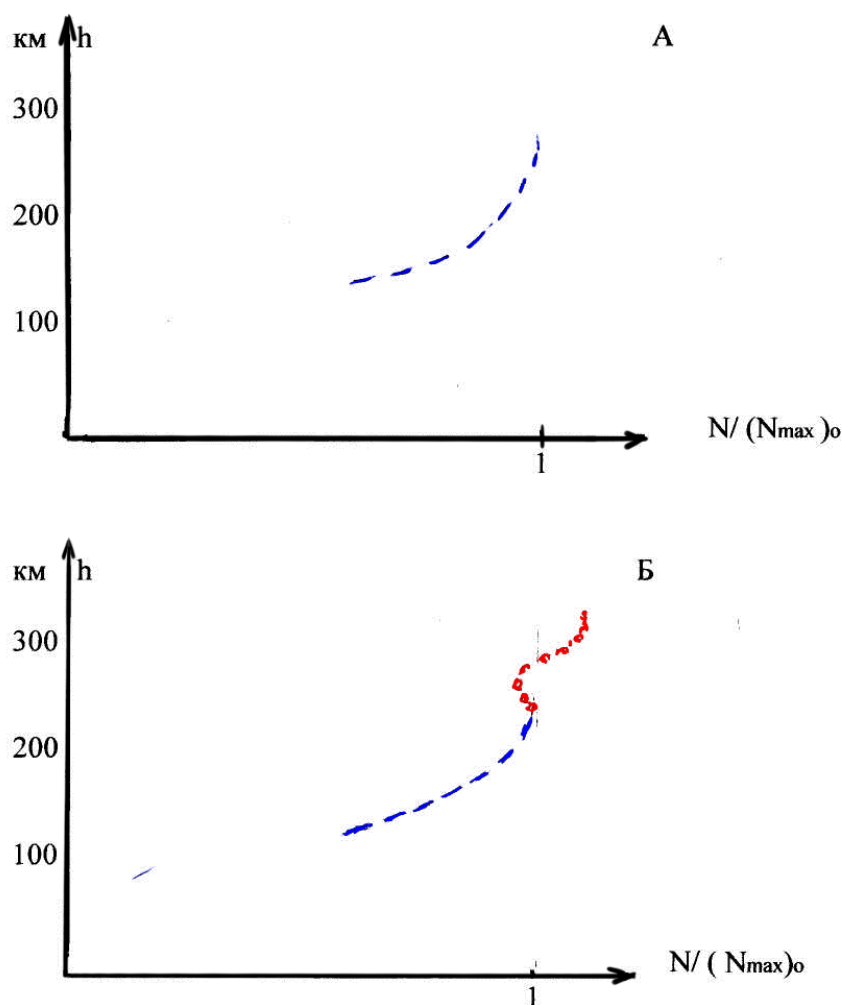


Рис. 2. Невозмущённый $n_e(h)$ — профиль (А) и возмущённый $n_e(h)$ — на интервале высот 200 – 300 км профиль (Б). Пунктир — невозмущённый профиль, точечная красная кривая — долина и новая область ионизации, возникшая в результате воздействия мощной волны.

Таким образом, представилось возможным сделать вывод о том, что при использовании наиболее мощных современных средств воздействия наклонным пучком на область F2 происходит её расслоение и образование «долины» глубиной до 10%. Данное антропогенное явление существенно для «скачкового» распространения декаметровых радиоволн.

Следует сделать существенное замечание относительно результатов, представленных на рис. 1. и рис. 2. Подобное воздействие на ионосферу в ноябре 1969 г. было дважды повторено. В одном случае изменения в ионограммах, полученных на АИС в средней точке скачковой трассы, были не столь выразительны, а в другом случае вовсе отсутствовали.

3 МОДИФИКАЦИЯ ИОНОСФЕРЫ МОЩНОЙ ВОЛНОЙ С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ

В этих экспериментах 1972–1974 г. для воздействия на ионосферу использовался ООР. Его пиковая мощность достигала 1 МВт при электронном управлении рабочей частотой и параметрами приёмной и передающей антенн. Результат этого воздействия определялся методом ВНЗ на основе кратковременного перехода из непрерывного режима нагрева в режим импульсного зондирования. Сам результат состоял в увеличении величины МПЧ-F2-3000. Оно составляло примерно те же самые 8%, о которых речь шла выше. В соответствии с этим производилось увеличение частоты мощной волны. В одной группе экспериментов удавалось с помощью этой методики величину дневной МПЧ-F2-3000 увеличивать примерно на 20% по сравнению с невозмущённым значением. В другой группе экспериментов постоянная начальная частота мощной волны выбиралась в интервале 15 – 18 МГц. Это в определённый момент суток соответствовало текущему значению МПЧ-F2-3000. Суть эксперимента состояла в том, что, несмотря на уменьшение в вечернее время невозмущённой МПЧ-F2-3000 до величины примерно 7 МГц, в секторе диаграммы направленности антенны мощного излучателя величина МПЧ-F2-3000 оставалась равной частоте мощной радиоволны. Всего было проведено около 20 сеансов подобного эксперимента, половина из которых была успешной. Первоначально был выбран вариант прерывистой работы радара: цикл воздействия 15 мин, цикл диагностики 5 мин. Диагностика осуществлялась путем измерений на нескольких дискретных частотах группового пути и амплитуды сигналов ВНЗ в окрестностях текущего значения $D' = 3000$ км. На рис.3 приведен один из результатов работы по этой методике, когда вследствие накопления опыта операторами диагностика осуществлялась в течение двух минут. На рисунке 3 отрезками прямых отмечены интервалы времени и номиналы частот, на которых работал мощный передатчик в непрерывном режиме; точками – значения МПЧ F2-3000, определяемые методом ВНЗ в течение двухминутных интервалов работы в импульсном режиме. Таким образом, основой методики исследования составляло представление о том, что необходимо воздействие в течение достаточного времени T_n . Опытным путем было установлено минимальное значение $T_n \sim 15$ мин. Как отмечено выше воздействие приводит к увеличению f_0 в вершине первого скачка и, следовательно, и МПЧ-F2-3000 примерно на 5÷7 %. После того как до двух минут тратится на подтверждение этого факта производилось увеличение частоты воздействия на эту величину, после чего цикл повторяется. В дневное время – 9÷12 часов LT в период проведения эксперимента невозмущенная частота МПЧ-F2-3000 согласно данным [Месячный прогноз] мало изменялась по отношению к величине 15,5 МГц. Именно это значение было выбрано для частоты первоначального воздействия.

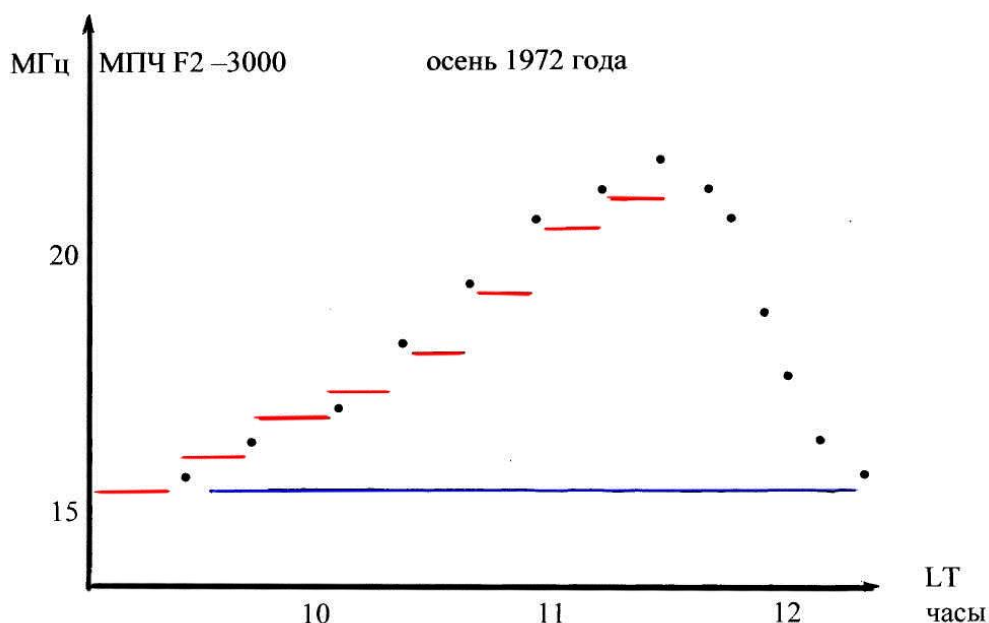


Рис. 3 Подъём дневного значения МПЧ-F2-3000 путём ступенчатого повышения частоты мощной волны передатчика с электронной перестройкой по частоте.

После первого цикла измерений было установлено, что возмущенное значение примерно равно 16 МГц. За два с половиной часа после восьми циклов воздействия величина МПЧ-*F2*-3000 была увеличена с 15,5 МГц до 23 МГц (верхней частотной границе технических возможностей радара). После этого в 11ч.30м. LT воздействие мощным пучком было приостановлено. Далее осуществляли 5-6 минутные циклы измерения МПЧ-*F2*-3000 методом ВНЗ. Было установлено, что в течение примерно 40 минут происходит возвращение ионосферы к ее невозмущенным свойствам. В период проведения этих экспериментов эти свойства полностью соответствовали данным долгосрочного прогноза [Месячный прогноз]. Важно подчеркнуть, что при проведении таких экспериментов (общим числом более 10) были реализованы две дополнительные схемы, их усложняющие. Во-первых, частота воздействия в течение каждых 30 секунд изменялась примерно на 1%. Это, по мнению экспериментаторов, должно было уменьшить воздействие долгопериодического фединга, обусловленного ионосферными неоднородностями. Однако, надежно установить эффект положительного влияния вариаций частоты воздействия на устойчивость повышения МПЧ- *F2*-3000 не удалось. Вторая дополнительная схема усложнения эксперимента по искусственному увеличению МПЧ-*F2*-3000 состояла в том, что при возрастании навыка операторов определяющих МПЧ- *F2*-3000 методом ВНЗ удавалась в течение 5–6 минут работы в этом режиме измерять МПЧ- *F2*-3000 под азимутами, отличающиеся на $+10^\circ$ и -10° по отношению к азимуту воздействия. На частотах более 20 МГц наблюдался отчетливый эффект сохранения невозмущенной МПЧ-*F2*-3000 вне главного лепестка антенных систем радара. Это дало основание для утверждения о том, что воздействие на ионосферу при наклонном падении на нее мощного пучка радиоволн происходит в «пятне» проекции диаграммы направленности передающей антенны радара на область *F2* ионосферы. Данный вид экспериментов проходил в дневных условиях, когда невозмущенная критическая частота ионосферы оставалась почти постоянной.

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ В НОЧНОЕ ВРЕМЯ

Воздействие мощной волной начиналось несколько ранее (20 – 30 минут) того времени, когда частота воздействия из интервала 15 – 18 МГц сравнивалась с локальной МПЧ- *F2*-3000 в точке смещенной к востоку от излучателя на 1500 км. С первого же раза экспериментаторы убедились в том, что под азимутом воздействия сигналы ВНЗ наблюдаются на частоте воздействия на дальности 3000 км вплоть до времени глубокой ночи, когда невозмущенная величина МПЧ- *F2*-3000 оказывалась равной половине частоты воздействия. Более того, в отдельных случаях в ночное время удавалось путем ступенчатого подъема частоты воздействия увеличение МПЧ- *F2*-3000 в пределах диаграммы направленности передающей антенны радара до величины, вдвое превышавшей невозмущенную частоту МПЧ- *F2*-3000. Последняя определялась как по долгосрочному прогнозу [Месячный прогноз], так и по сигналам ВНЗ вне азимута воздействия. На рисунке 4 представлен один из результатов такого эксперимента. Частота воздействия оставалась постоянной (~18 МГц) в течение шести часов

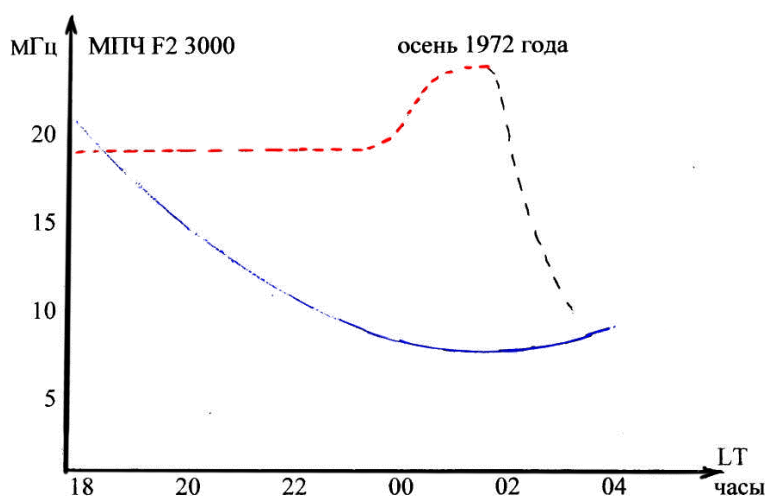


Рис. 4. Воздействие на ионосферу мощной волной постоянной частоты в сумеречное и ночное время. Сплошная линия – прогнозный ход МПЧ *F2* 3000, пунктирная красная - возмущенный ход; время выключения непрерывного режима ООР – 02 часа.

сумеречного и предполуночного времени. После полуночи частота воздействия была ступенчато увеличена до 23 МГц — вплоть до трехкратного превышения возмущенной МПЧ-F2-3000 по отношению к невозмущенной. На этой частоте осуществлялось воздействие в течение ночи до 01 ч.45 м LT, когда радар из режима непрерывного излучения был переведен в режим импульсного излучения, позволяющего с помощью сигналов ВНЗ контролировать величину МПЧ- F2-3000. После этого МПЧ-F2-3000 возмущенной области стала плавно уменьшаться, и к 04ч. LT достигла невозмущенного уровня (около 7,5 МГц). Кривая релаксации выглядит примерно так же, как и на рис. 3.

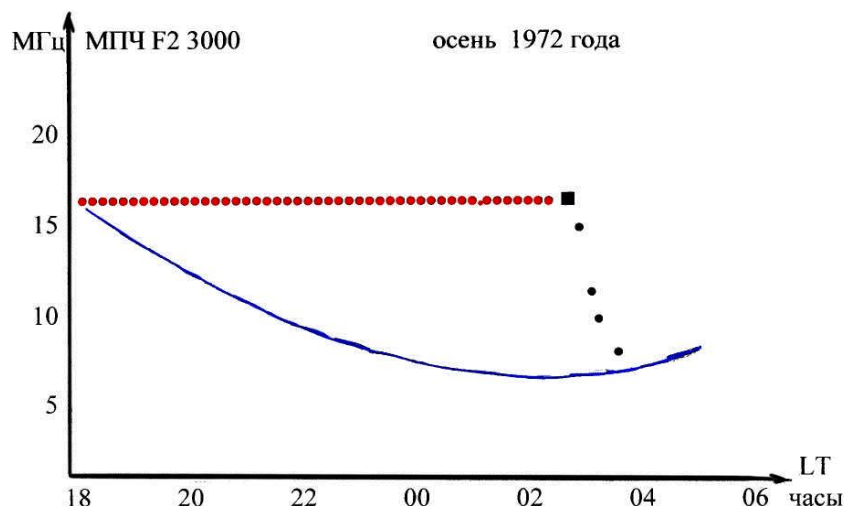


Рис. 5. Воздействие на ионосферу мощной волной радара в непрерывном режиме и загоризонтное обнаружение старта баллистической ракеты : _____ невозмущенный ход МПЧ F2 3000, возмущенный ход, ■ время выключения непрерывного режима излучения ЗГ РЛС и работы по обнаружению старта баллистической ракеты, при регистрации волны, рассеянной плазменным следом ракеты.

На рисунке 5 представлен результат аналогичного эксперимента с частотой воздействия около $f_0 \approx 16$ МГц, которая незначительно изменялась (это не отражено на рисунке) в период с 18 часов до 03 часов последующих суток. Изменения проводились в пределах 0,5 МГц, как только сигнал ВНЗ на дальности 3000 км уменьшался по амплитуде более чем на 6 дБ. По предположению экспериментаторов причиной этого мог быть долгопериодический фединг, и небольшое изменение частоты должно было предотвратить его негативное воздействие на величину поля в вершине первого скачка. Судя по результатам эксперимента, если даже такое негативное воздействие имело место, то его удалось предотвратить. Существенно, что примерно в 03 часа LT на расстоянии ~3000 км от радара был осуществлен запуск баллистической ракеты. Её активный участок, на котором существовал плазменный след работающих двигателей ракеты, простирался до высот главного максимума ионосферы. Перед этим временем был осуществлён перевод радара в импульсный режим. Произошло обнаружение запуска. Данные, представленные на рис 4 и на рис. 5 свидетельствовали о важном факте. В течение пятиминутного интервала после прекращения мощного воздействия свойства возмущенной ионосферы еще не успевали претерпевать существенное изменение. То есть процесс загоризонтного обнаружения радаром плазменного следа ракеты происходил с использованием искусственной ионосферы. Работа велась на частоте ~ 15 МГц, что вдвое превышало невозмущенную МПЧ-F2-3000 ионосферы в месте приема сигнала рассеянного следом ракеты. Естественно, что при таком превышении приемные устройства радара функционировали фактически при полном отсутствии так называемых активных помех — сигналов от различных радиосредств, работавших в декаметровом диапазоне. Диапазон активных помех ограничен сверху локальным значением МПЧ-F2-4000. Данные [Месячный прогноз] показывают, что эта величина лишь на несколько процентов выше МПЧ-F2-3000. Условия непревышения рабочей частотой величины местной МПЧ-F2-4000 (в 03 часа LT в месте стояния радара) имеют место на расстоянии в несколько тысяч км от радара [Месячный прогноз]. То есть скачковые траектории радиосигналов на частоте ~15 МГц от удаленных источников район местонахождения радара попасть не могут.

В завершение следует упомянуть об экспериментальных данных в ситуациях, когда попытки длительного удержания возмущенного значения МПЧ-F2-3000 существенно выше невозмущенного претерпевали неудачу. Из-за убывания амплитуды сигналов ВНЗ на дальности 3000 км приходилось через 2–3 часа снижать частоту воздействия. После нескольких снижений частота воздействия приближалась к значениям невозмущенной МПЧ-F2-3000. Число таких сеансов было около десяти. Фигурировали гипотезы о том, что причиной подобных неудач могли быть либо появление спорадического слоя E, либо учащенные проявления долгопериодического фединга. Однако, методики проверки этих гипотез не были реализованы.

5 ЭКСПЕРИМЕНТ С ИНДИКАТОРОМ МОДИФИКАЦИИ ИОНОСФЕРЫ ПАРАМЕТРАМИ ПРОБНОЙ ВОЛНЫ НЗ

Приведём выдержку из более поздней работы по модификации ионосферы. Речь идёт об экспериментальных исследованиях, выполненных в НИИР и ИЗМИРАН [Черкашин и др., 1992]. Воздействие мощного наклонного КВ радиоизлучения регистрировались на морских субавроральных трассах в 1987-1988 г в летний период в дневное и ночное время суток сеансами по 4 ч. с использованием штатных мощных излучателей ЮРЦ и МРЦ. Частота мощного сигнала f_m выбиралась вблизи МПЧ-F2 или МПЧ-F1 по данным долгосрочного прогноза, а частота пробного сигнала f_p была ниже f_m на 15–35 кГц. Регистрация сигналов проводилась на научно-исследовательских судах (НИС), находящихся в Северной Атлантике. Протяженность трасс в период проведенных измерений составляла ~ 1,7–3,1 Мм в зависимости от местоположения судна. На НИС осуществлялась также регистрация ионограмм наклонного зондирования ионосферы (НЗИ) на скользящей частоте в диапазоне частот 3,5–27,5 МГц с периодичностью 5 раз в час. На радиотрассах Москва-НИС проводились также амплитудные и спектральные (доплеровским методом) измерения характеристик мощных и пробных КВ сигналов. На рис. 6 показаны изменения амплитуды пробного сигнала, усредненной за каждый период режима работы мощного передатчика. Представленные сеансы характерны для наблюдений в утренние часы. Режимы работы мощного передатчика изображены внизу. Частота пробного сигнала была меньше частоты мощного на 30 кГц, длина трассы составляла 2,950 Мм для 25.07.88 г, и 3,020 Мм для 16.07.88 г. Видно, что увеличение эффективной мощности P_e излучения мощного передатчика приводит к уменьшению амплитуды пробного сигнала (противоположные знаки вариаций амплитуды пробного и мощного сигналов). Такая отрицательная «корреляция» наблюдалась в 60-80% случаев в разные дни. На рис. 7. представлены примеры вариации уровня пробного сигнала относительно момента изменения эффективной мощности излучения мощного передатчика с $1P_e$ до $0,1P_e$ и с $1P_e$ до $0,25P_e$, полученные методом наложения эпох для 16.07.88 г. Сплошной линией показаны вариации величин амплитуды пробного сигнала, усредненных за каждую минуту, а штриховой – за каждые 5 мин. Вертикальной линией обозначен момент резкого уменьшения эффективной мощности мощного передатчика.

Видно, что резкое уменьшение эффективной мощности излучения мощного передатчика приводит к плавному нарастанию амплитуды пробной волны. Причем при уменьшении P_e с $1P_e$ до $0,1P_e$ наблюдается более сильное воздействие на амплитуду пробного сигнала ($\Delta U \approx 20\text{--}30\%$), чем при уменьшении P_e с 1 до 0,25 (ΔU — до 10%).

Кроме того, можно видеть, что в случае изменения P_e с 1 до 0,25 на четвертой минуте после изменения P_e амплитуда пробного сигнала достигла своей максимальной величины, а затем начинается ее уменьшение. Дисперсия значений амплитуды пробного сигнала при полной эффективной мощности мощного радиоизлучения заметно превосходит дисперсию значений амплитуды пробного сигнала при меньшем значении P_e , а время восстановления уровня пробного сигнала при изменении P_e с 1 до 0,25 заметно меньше, чем при перепаде P_e с 1 до 0,1.

6 ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЩНОЙ НАКЛОННОЙ РАДИОВОЛНЫ НА СИГНАЛЫ ЛЧМ НЗ НА ПЕРЕСЕКАЮЩЕЙСЯ ТРАССЕ

Осенью 2014 г. ФГБУ «ИПГ» проводились сеансы наклонного зондирования ЛЧМ-сигналами на ионосферной трассе Кипр — Москва. При этом в отдельных случаях они совпадали по времени с регистрацией кругосветных сигналов на пересекающейся трассе [Акимов и др., 2014]. На рисунке 8 на карте полушария представлена схема расположения трасс.

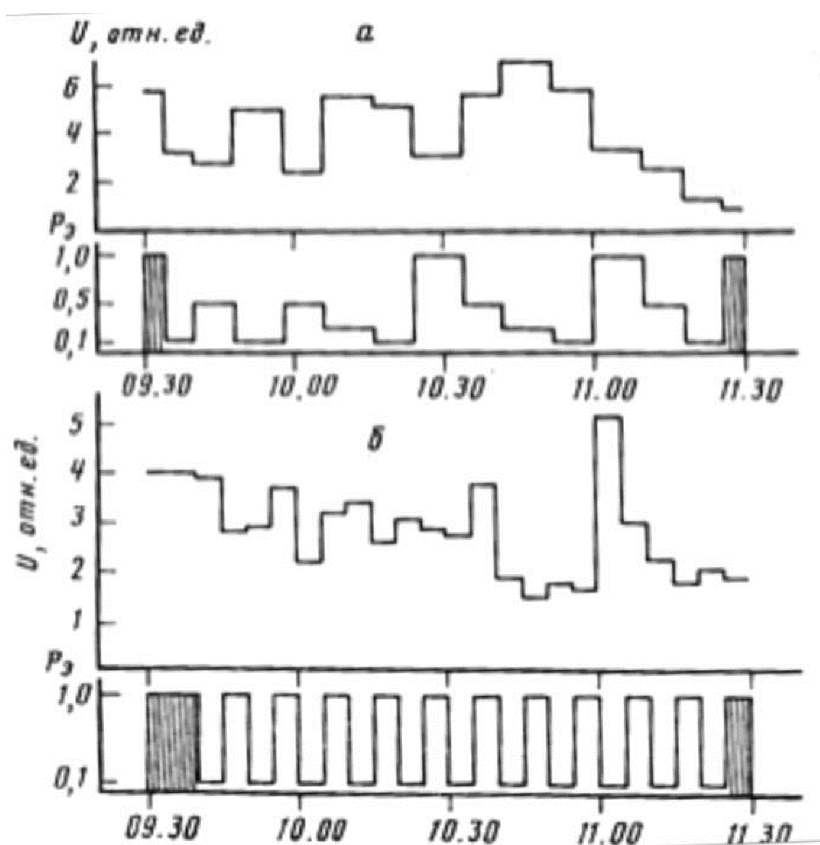


Рис. 6. Временная зависимость амплитуды пробного сигнала в соответствии с режимом мощного радиоизлучения: а- 25 июля 1988 г., б – 16 июля 1988 г.

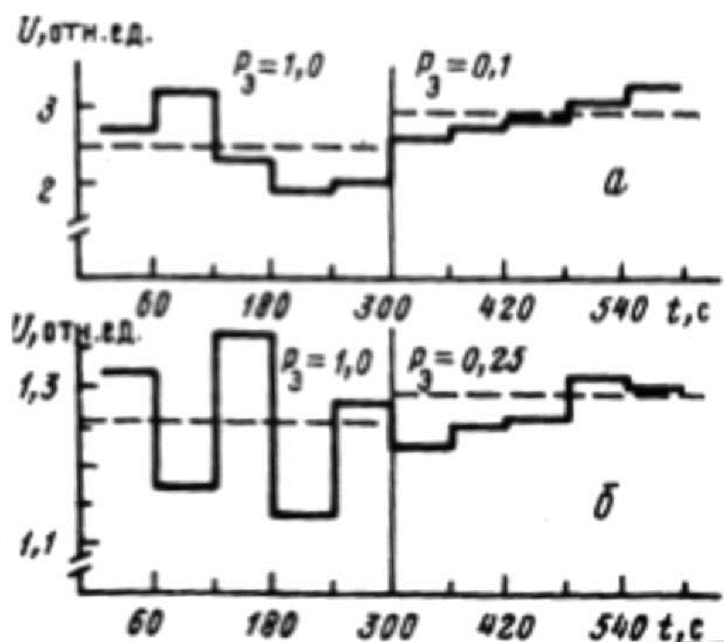


Рис. 7. Вариации амплитуды пробного сигнала при резком изменении эффективной мощности мощного передатчика.

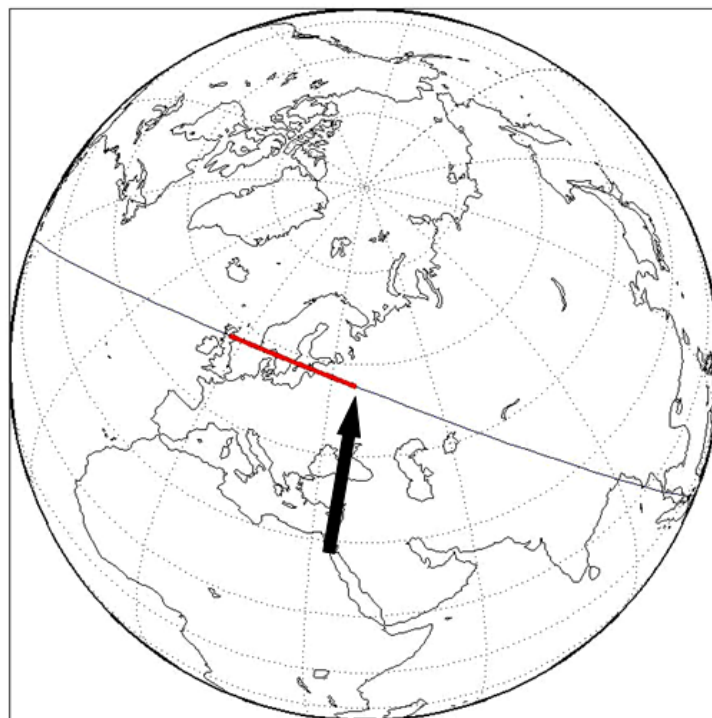


Рис. 8. Схема расположения трассы Кипр – Москва (чёрная стрелка) и фрагмента трассы кругосветного сигнала (красный цвет - участок первого скачка).

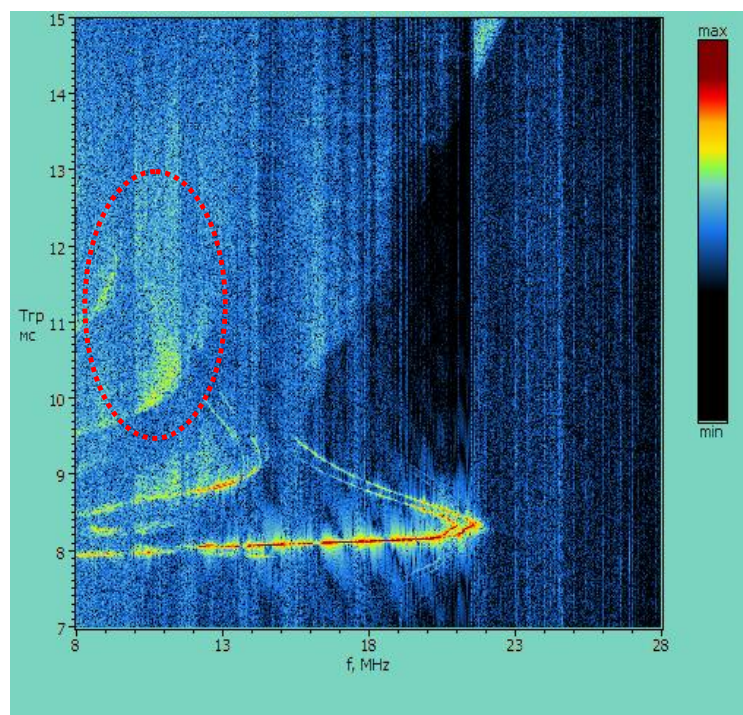


Рис. 9. Типовой вид ДЧХ НЗ на трассе Кипр-Москва с дополнительными отражениями, возникающими при одновременной работе на трассе КС.

На рисунке 8 представлен образец ДЧХ НЗ в период осени 2014 г. на трассе Кипр – Москва. Здесь по оси абсцисс отложена частота зондирования в МГц. А по оси ординат – задержки разного рода треков НЗ, в мс. Такие ДЧХ в последние годы публикуются в различных научных материалах [Яковлев и др., 2009].

Представляют интерес неоднократно реализованные факты регистрации на плоскости ДЧХ НЗ дополнительных отражений, возникающих **только**, когда происходит излучение сигналов КС по соответствующей трассе. На рис. 9 область существования упомянутых отражений обведена красным пунктирным эллипсом. Имеются две существенные особенности данной области на рис. 9. По частоте она ограничена величиной порядка 10 МГц, а по дальности превышает основной сигнал Кипр-Москва на величину порядка 600 км (минимальные значения). Столь нетривиальное сочетание позволяет сделать несколько неординарных предположений о траектории аномального сигнала.

Во-первых, допустить, что на начальном участке траектории КС на высотах более 100 км во время работы могут возникать мелкомасштабные искусственные неоднородности электронной концентрации.

Во-вторых, их переизлучение под углом, близким к $\pi/2$, то есть в направлении, близком к линии на Москву, может сформировать полутораскачковую траекторию с МПЧ порядка 10 МГц. Область переизлучения находится в самом начале ионосферного участка траектории КС, что обусловлено упомянутой величиной 600 км. Для сигналов с большей задержкой внутри эллипса возможны и другие конфигурации траекторий.

7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прежде всего, следует отметить, что серия экспериментов 1969 – 1974 г., результаты которых изложены выше, проводились в рамках исследований по загоризонтной локации стартующих ракет. Это происходило около полувека назад, и было важным явлением не только в радиотехнической области, но и в фундаментальной науке – физики ионосферной плазмы. В настоящее время данные эксперименты могут быть повторены лишь частично, с использованием технических средств МРЦ. Это заставляет исследователей вновь и вновь обращаться к давним результатам по увеличению МПЧ области F2 среднеширотной ионосферы под воздействием мощной волны наклонно падающей на неё. Тем более, что теоретические модели отмеченных явлений не были реализованы с должной полнотой.

ЛИТЕРАТУРА

- Акимов В.Ф., Калинин Ю.К., Рождественская Л.Л., Шустов Э.И. Увеличение максимально применимой частоты при наклонном воздействии мощной радиоволны // Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Алма-Ата, Тез. докл. М.: Наука, с.101, 1987
- Акимов В.Ф., Калинин Ю.К., Тасенко С.В. Однотраекторное распространение декаметровых радиоволн. – Обнинск. ФГБУ ВНИГМИ –МИД. 2014. 260 с.
- Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 568 с., 1979
- Гуревич А.В., Шварцбург А.Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. – М. : Наука, 1973.
- Калинин Ю.К., Васькин А.А., Горенко В.Е., Платонов Т.Д. Вопросы ионосферного распространения мощных радиоволн декаметрового диапазона // Труды ИПГ, вып. 84, с. 25, 2006.
- *Месячный прогноз МПЧ* – в прошлом периодическое издание ИПГ
- Черкашин Ю.Н., Чернов Ю.А., Шумилов И.А. и др. Изменение амплитуды пробных сигналов и ионограмм НЗ при воздействии на ионосферу мощного наклонного радиоизлучения // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т.32. № 1. С. 175.

MODIFICATION OF THE IONOSPHERE'S AREA MIDDLE-LATITUDE F2 BY THE POWERFUL RADIO WAVE OF A DECAMETER RANGE FALLING IN THE LEANING POSITION

Kalinin Y.K , Repin A.Y., Khotenko E.N.

Results of a series of some experiments on increase MUF of middle-latitude area F2 in 1969-1972 as a result of nonlinear influence of in the leaning position falling radio-wave decameters a range are stated. Transmitters with average power of 500 kW, aerials with the big gain, and also powerful radar with electronic reorganization on frequency and a radiation azimuth were used. It has been established that creation in top of the first hop of intensity of a field of an order 0,1 V/m increases MUF areas F2 by 5-7 percent. At consecutive increase in frequency of a powerful wave it was possible to increase in the afternoon MUF by 25 %. At night it was possible to keep day values MUF in 1,5-2 times exceeding not disturbance night values.

KEYWORDS: IONOSPHERE, POWER RADIO WAVE, INCREASE MUF, TEST RADIO WAVE, INTERSECTING RADIO FREQUENCIES