

УДК 551.510

ОСЛАБЛЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РАДИОВОЛН В ИСКУССТВЕННО ВОЗМУЩЕННОЙ МОЩНЫМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕМ НИЖНЕЙ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЕ

С. И. Мартыненко, В. А. Мисюра, Л. А. Пивень, В. Г. Сомов,
Л. Ф. Черногор, А. С. Шемет

Обнаружено значительное (до 60% и более) ослабление интенсивности принятых зондирующих высокочастотных сигналов, вызываемое воздействием мощного коротковолнового радиоизлучения на нижнюю ночную высокоширотную ионосферу.

На базе установки Полярного геофизического института (ПГИ) по искусственному воздействию мощным коротковолновым излучением на высокоширотную ионосферу в районе г. Мончегорска [1] оказалось возможным начать систематическое экспериментальное изучение вопросов активного воздействия на обладающую рядом существенных особенностей полярную ионосферу и получить интересные результаты [2]. В данной работе сообщается об обнаружении значительного ослабления интенсивности высокочастотных зондирующих сигналов, распространяющихся через возмущенную мощным коротковолновым радиоизлучением ночную высокоширотную нижнюю ионосферу. Эксперимент проводился в феврале—марте 1978 г. в районе г. Мончегорска.

Возмущение в ионосфере вызывал мощный передатчик ПГИ, непрерывно излучавший вверх модулированную радиоволну с несущей частотой $f_1 \approx 3,3$ МГц, частота модуляции составляла $\sim 1,5$ кГц, эффективная мощность установки была $P_1 G_1 \leq 10$ МВт.

Диагностика велась с помощью подвижного радиотехнического ионосферного комплекса Харьковского госуниверситета (ХГУ) и ионосферной станции ПГИ типа МИС-5. Регистрировались зеркально отраженные зондирующие сигналы на частотах $f_2 \approx 1,7 \div 3,5$ МГц, длительность зондирующих импульсов составляла $\tau_2 = 25$ мкс, излучаемая эффективная мощность в импульсе ~ 9 МВт. Для анализа геомагнитной обстановки привлекались данные магнитометрической сети на Кольском полуострове.

Была проведена систематизация всех экспериментальных данных (около 60 сеансов) по сходным геомагнитным условиям. В качестве критерия выбран r_H -индекс (разность максимального и минимального значений амплитуды H -компоненты магнитного поля Земли, взятая за часовой интервал времени и выраженная в $nTл$). Весь экспериментальный материал условно разбивался на три группы по степени геомагнитной возмущенности: 1 — большие геомагнитные возмущения ($r_H \approx 180 \div 200$ $nTл$); 2 — умеренные и слабые геомагнитные возмущения ($150 \div 180 \geq r_H \geq 30 \div 40$ $nTл$); 3 — невозмущенные геомагнитные условия ($r_H \leq 30 \div 40$ $nTл$). В первую группу попало 10 сеансов, во вторую и третью группы — по 20 сеансов, остальные сеансы (около 10) использовались в качестве тестовых, так как искусственное возмущение в них

отсутствовало. Амплитуды принятых зондирующих сигналов E_{\pm} («+» — обыкновенная компонента, «-» — необыкновенная) при обработке усреднялись в течение одного цикла измерений (15 минут до включения мощного передатчика, 30 минут в течение его работы и 15 минут после выключения искусственного возмущения) на интервалах времени $\Delta t = 5$ мин и нормировались на среднее значение амплитуды на весь цикл измерений $E_{\text{ср}\pm}$. Анализ полученных величин $a_{\pm} = \bar{E}_{\pm}/E_{\text{ср}\pm}$ (черта означает операцию усреднения в интервале $\Delta t = 5$ мин) позволил заметить, что для первой группы данных и в некоторых случаях для второй группы включение мощного передатчика вызывало уменьшение величины a_{\pm} в среднем на 50—70% (в некоторых случаях наблюдалось уменьшение a_{\pm} на порядок), причем время развития возмущений лежало в пределах от единиц до десятка минут и более, что не всегда согласуется с величинами характерных времен развития возмущений электронной плотности N за счет нарушения ионизационно-рекомбинационного баланса $t_N \sim 100$ с в нижней ионосфере [3]. К тому же не удалось обнаружить связи начала релаксационных процессов с моментом выключения возмущающего передатчика. Релаксация возникающих возмущений в ряде сеансов начиналась как до, так и после выключения мощной установки. Это наводит на мысль о возможности спускового механизма воздействия мощного радиоизлучения на описанные выше процессы. Тогда работа мощного передатчика будет влиять только на момент начала развития мощных возмущений, а их величина и время релаксации будут определяться естественными процессами (например, аналогичные величины поглощения наблюдаются в высокоширотной ионосфере при геомагнитных суббурях). По-видимому, аналогичные физические явления могли иметь место и в экспериментах, описанных в работе [4]. Для иллюстрации вышесказанного на рис. 1 представлены величины зеркально отраженного сигнала (рис. 1а) и кратного отражения (рис. 1б) зондирующего сигнала на частоте $f_2 \simeq 2,12$ МГц (сплошная линия — обыкновенная, штриховая — необыкновенная компоненты, под осью t отмечено время возмущения (время московское), z — действующая высота отражения). Заметим, что в данном случае после выключения возмущающего передатчика ионосфера не релаксирует к своему исходному состоянию.

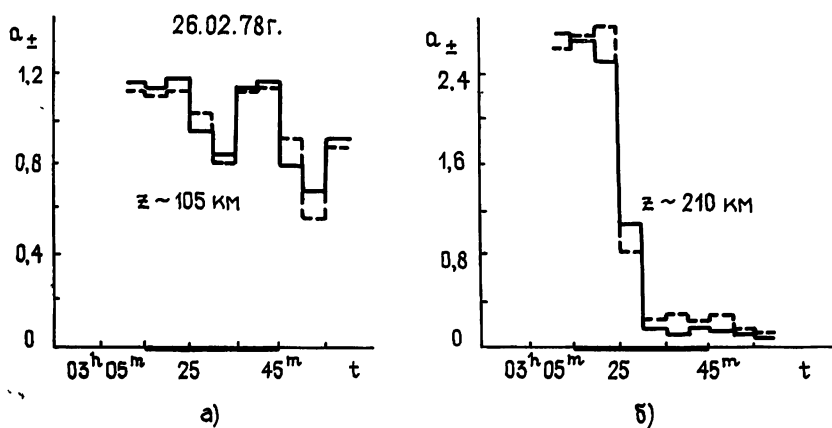


Рис. 1.

Для выяснения вопроса о вероятности появления стимулированного ослабления был выбран критерий $\bar{E}_{0\pm}/\bar{E}_{\pm} = m_1 \geq 1,3$, где $\bar{E}_{0\pm}$ — усредненная амплитуда на пятиминутном интервале, предшествующем моменту включения мощного передатчика, E_{\pm} — соответствующая ам-

плитуда, взятая на первом и втором или третьем временных интервалах после включения мощного передатчика. При этом считалось, что явление уменьшения амплитуды принятого зондирующего сигнала во время работы мощного передатчика имело место (пороговая величина выбиралась с тем расчетом, чтобы она превышала средний уровень случайных флуктуаций). Оцененная при помощи этого критерия вероятность появления эффекта в условиях большой геомагнитной возмущенности составила $\sim 80-90\%$ (в среднем $m_1 \approx 2 \div 2,5$, а в некоторых случаях $m_1 \approx 6 \div 10$), а в условиях умеренных геомагнитных возмущений — $35 \div 50\%$. Отметим, что при отсутствии геомагнитных возмущений вышеописанных явлений не наблюдалось. Анализ ионограмм, полученных под зоной возмущения, показал, что практически во всех случаях, когда наблюдалось стимулированное ослабление, в ионосфере присутствовал слой E_s или имело место полное поглощение сигналов ионосферной станции (заметим, что достаточно высокая мощность диагностической установки ХГУ позволяла надежно регистрировать зеркально отраженные сигналы даже в этом случае). Причем в условиях большой геомагнитной возмущенности (первая группа данных) в течение времени работы мощного передатчика наблюдалось увеличение минимальной частоты отражения от E_s , что свидетельствует об увеличении ослабления зондирующего сигнала в нижней ионосфере под действием искусственного возмущения. К тому же действующие высоты отражения зондирующих волн, излучаемых установкой ХГУ ($f_2 \sim 1,7 \div 3,5$ МГц), в случаях наблюдения искусственно стимулированного ослабления составляли $z \sim 90 \div 120$ км. Это позволяет сделать вывод о том, что получаемое ослабление вызывается процессами, происходящими в нижней ионосфере.

Для подтверждения связи момента начала ослабления интенсивности зондирующих сигналов с началом работы мощной установки было проведено сравнение данных первой группы по геомагнитной возмущенности при наличии искусственного возмущения с данными, соответствующими первой группе по геомагнитной возмущенности, полученными в ночных условиях при отсутствии искусственного возмущения.

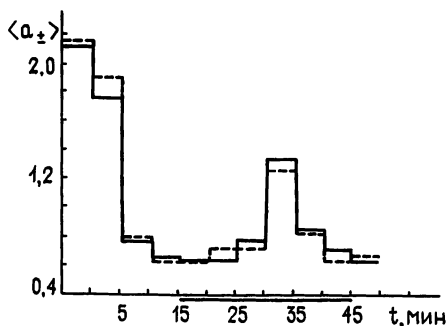


Рис. 2.

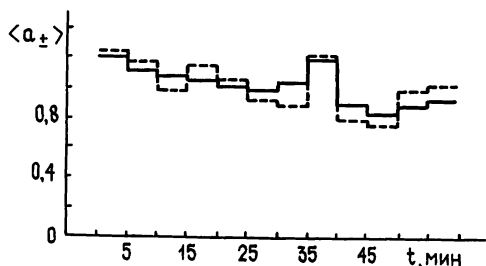


Рис. 3.

На рис. 2 представлена зависимость от времени величин $\langle a_{\pm} \rangle$ при наличии нагрева нижней ионосферы мощными радиоволнами (угловые скобки означают операцию усреднения величин a_{\pm} по всему ансамблю сеансов измерений для первой группы, время работы мощной установки отмечено под осью t). Как и ранее, сплошной линией показаны результаты для принимаемой обыкновенной компоненты зондирующей волны, а штриховой — для необыкновенной компоненты. Видно, что момент включения мощного передатчика хорошо коррелирует с началом ослабления зондирующих радиоволн. Связи же момента выключе-

ния возмущающей установки с началом релаксационных процессов в ионосфере здесь также не наблюдается.

На рис. 3 приведена зависимость от времени значений $\langle a_{\pm} \rangle$, полученных в соответствующих геомагнитных условиях в ночное время при отсутствии искусственного возмущения (всего 5 сеансов измерений). Видно, что в этом случае в среднем появление значительного ослабления зондирующих радиоволн, в отличие от искусственно возмущенных условий, не наблюдалось (добавим, что в отдельно взятых тестовых сеансах измерений иногда наблюдалось увеличение ослабления за счет естественных процессов в ионосфере, однако после усреднения по ансамблю тестовых измерений эти относительные изменения амплитуд зондирующих сигналов взаимно компенсируются).

Вышеизложенные результаты свидетельствуют о том, что обнаруженное значительное ослабление интенсивности принятых зондирующих высокочастотных сигналов стимулируется воздействием мощного коротковолнового радиоизлучения на нижнюю ночную высокоширотную ионосферу в условиях высокого уровня геомагнитной активности. Так как описанное явление не может быть полностью объяснено процессами нарушения ионизационно-рекомбинационного баланса при прямом воздействии мощного коротковолнового излучения на ионосферную плазму [3], не исключена возможность, что в данных экспериментах наблюдалось стимулированное высыпание высокоэнергетических частиц. В заключение отметим, что этот вопрос нуждается в дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность И. Н. Капустину, А. А. Ульянченко, А. М. Ройзену за обеспечение работы возмущающей установки, предоставленные данные ионосферного зондирования под зоной возмущения и помощь в организации экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капустин И. Н., Перцовский Р. А., Ульянченко А. А. В кн.: Исследование ионосферы и магнитосферы методами активного воздействия.— Апатиты: изд. Кольского филиала АН СССР, 1977, с. 2.
2. Капустин И. Н. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1977, 25, № 5, с. 248.
3. Гуревич А. В., Милих Г. М., Шлюгер И. С. — Письма в ЖЭТФ, 1976, 26, № 7, с. 395.
4. J. W. Wright. — J. Geophys. Res., 1975, 80, № 31, p. 4383.

Харьковский государственный
университет

Поступила в редакцию
10 июня 1982 г.

ATTENUATION OF HIGH FREQUENCY RADIO WAVES IN THE HIGH-LATITUDE LOWER IONOSPHERE ARTIFICIAL DISTURBED A POWERFUL RADIO EMISSION

*S. I. Martynenko, V. A. Misyura, L. A. Piven', V. G. Somov,
L. F. Chernogor, A. S. Shemet*

A considerable attenuation (up to 60% and more) has been detected of the intensity of received sensing high-frequency signals, which is induced by the action of a powerful HF radio wave upon the lower night high-latitude ionosphere.
