

РАДИОФИЗИКА ГЕОКОСМОСА

УДК 550.388:520.16:
520.8+534.29

Л. Я. ЕМЕЛЬЯНОВ¹, Т. Г. ЖИВОЛУП¹, С. А. СОРОКА²,
О. К. ЧЕРЕМНЫХ³, Л. Ф. ЧЕРНОГОР^{1,4}

¹ Институт ионосферы НАН и МОН Украины,
ул. Краснознаменная, 16, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: leonid.ya.emelyanov@gmail.com

² Львовский центр Института космических исследований НАН Украины и ГКА Украины,
ул. Научная, 5а, г. Львов, 79000, Украина

³ Институт космических исследований НАН Украины и ГКА Украины,
пр-т Академика Глушкова, 40, корп. 4/1, г. Киев, 03680, Украина
E-mail: oleg.cheremnykh@gmail.com

⁴ Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина,
пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина
E-mail: Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

НАЗЕМНОЕ АКУСТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА АТМОСФЕРУ: РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТОДАМИ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ И ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Представлены результаты эксперимента, проведенного в 2006 г. Львовским центром Института космических исследований (ЛЦ ИКИ) и Институтом ионосферы (г. Харьков) по исследованию реакции ионосферы на акустическое воздействие. В качестве источника акустического сигнала использовалось оборудование ЛЦ ИКИ, установленное на территории Ионосферной обсерватории Института ионосферы. Диагностика изменений в ионосфере осуществлялась радаром некогерентного рассеяния с зенитной антенной и ионозондом “Базис” Института ионосферы, а также контрольной аппаратурой ЛЦ ИКИ. Обнаружены изменения параметров ионосферы на высотах 160 ÷ 200 км, следовавшие за воздействием на атмосферу акустического сигнала.

Ключевые слова: акустическое воздействие, ионосфера, метод некогерентного рассеяния, метод вертикального зондирования

1. Введение

Исследование влияния мощных звуковых воздействий на атмосферу Земли имеет большое фундаментальное и прикладное значение (см., например, [1, 2]). Взаимосвязь между подсистемами в системе Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера в значительной степени осуществляется через акустический канал [3–6]. Это проявляется в передаче энергии и импульса из нижних слоев атмосферы в ее верхние слои.

Одним из важных направлений исследования атмосферно-ионосферных связей является диагностика изменений параметров ионосферы

при природных и антропогенных воздействиях. Подобные работы включают в себя исследования воздействия на ионосферу погодных фронтов, землетрясений, мощного радиоизлучения, запусков космических ракет, мощных взрывов, мощного акустического воздействия (см., например, [6–10]).

Первые результаты наблюдения эффектов в ионосфере, сопутствовавших воздействию акустического излучения генератора, разработанного Львовским центром Института космических исследований НАН Украины и ГКА Украины (ЛЦ ИКИ), описаны в работах [11–13].

В мае и октябре 2006 г. Институтом ионосферы НАН и МОН Украины совместно с Институтом космических исследований НАН Украй-

ны и ГКА Украины впервые проведен ряд экспериментов, направленных на поиск возможного влияния мощного акустического сигнала (АС) на ионосферу. В качестве источника АС использовался подвижный акустический комплекс ЛЦ ИКИ, установленный на территории Ионосферной обсерватории Института ионосферы. Диагностика изменений в ионосфере во время экспериментов осуществлялась харьковским радаром некогерентного рассеяния (НР) с зенитной антенной, автоматической ионосферной станцией (ионозондом) “Базис” и контрольной аппаратурой ЛЦ ИКИ (приемником низкочастотного диапазона и магнетометром, установленными на расстоянии около 100 м от акустического излучателя).

Целью исследований был поиск возможной реакции атмосферно-ионосферной системы на мощное искусственное акустическое воздействие с помощью методов НР и вертикального зондирования.

Предварительные результаты комплексных исследований динамических процессов в атмосфере и ионосфере, сопутствовавших акустическому воздействию на околоземную атмосферу, представлены в [14–19].

В настоящей работе приведены результаты наблюдений ионосферы, полученные с помощью радара НР Института ионосферы и ионозонда “Базис” в мае и октябре 2006 г. при работе акустического оборудования ЛЦ ИКИ.

2. Гелиогеофизическая обстановка

Солнечная активность. Эксперименты с акустическим воздействием на ионосферу проводились в период низкой солнечной активности. В течение проведения экспериментов с 6 по 17 мая индекс солнечной активности $F_{10.7}$ находился в пределах $72 \div 83$, с 16 по 23 октября 2006 г. $F_{10.7} = 70 \div 75$.

Геомагнитная активность. Дни проведения экспериментов 6 мая и 17 октября 2006 г., результаты которых приведены ниже, были спокойными, как и предшествующие дни 5 мая и 16 октября 2006 г. Во время экспериментов трехчасовой индекс геомагнитной активности K_p не превышал значения 3. Таким образом, геомагнитная обстановка в целом была благоприятной для проведения активных экспериментов.

3. Средства и методы

Акустическая установка. Для воздействия на ионосферу использовался разработанный в ЛЦ ИКИ акустический излучатель МАВ-2 с мощностью привода около 560 кВт. Акустическая мощность излучателя составляла около 100 кВт.

Акустическое воздействие состояло из трех последовательных сигналов длительностью 1 мин и паузой такой же продолжительности (рис. 1). Излучаемый сигнал на частоте 195 Гц был промодулирован по амплитуде колебанием с частотой 25 Гц. Моменты начала мощного акустического воздействия на ионосферу: 6 мая 2006 г. в 11:12 и 14:31, 17 октября 2006 г. в 10:57 и 11:07 (здесь и далее время киевское).

Харьковский радар НР расположен в Ионосферной обсерватории Института ионосферы вблизи г. Змиева [20]. Его основные параметры: географические координаты 49.6° с. ш., 36.3° в. д., геомагнитные координаты 45.7° , 117.8° , рабочая частота 158 МГц, импульсная мощность 2.4 МВт. Антенна – вертикально направленная двухзеркальная параболическая с диаметром 100 м и эффективной площадью около 3700 м².

Зондирование ионосферы осуществлялось двухчастотным составным сигналом, состоящим из элементов длительностью 650 и 120 мкс. Некогерентно рассеянный ионосферой эхо-сигнал от первого элемента используется для исследования внешней ионосферы в диапазоне высот $200 \div 1500$ км с разрешением около 120 км. В данных экспериментах использовалась информация о мощности эхо-сигнала от второго элемента, позволяющая регистрировать процессы в ионосфере на высотах $70 \div 600$ км с высотным разрешением около 20 км и дискретностью вывода информации по высоте 4.5 км. Поляри-

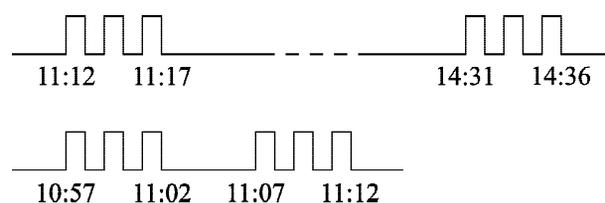


Рис. 1. Эпюры АС 6 мая 2006 г. (верхняя панель) и 17 октября 2006 г. (нижняя панель)

зация сигнала – круговая. Длительность сеанса измерений 1 мин. Относительная погрешность определения параметров ионосферы обычно не превышает 10 %.

Ионозонд “Базис”. Его основные параметры: диапазон рабочих частот в режиме вертикального зондирования $1 \div 20$ МГц, частота повторения импульсов 100 Гц, длительность импульса 100 мкс, импульсная мощность передатчика не менее 15 кВт. Антенны – ромбические с вертикальным излучением. Приемная и передающая антенны идентичны и расположены ортогонально.

Регистрировались высотно-частотные характеристики (ВЧХ) ионосферы. Режим работы ионо-

зонда был следующим: за 10 мин до включения акустического генератора измерялись ВЧХ с периодом 5 мин в течение 40 мин, в остальное время измерений – с периодом 15 мин.

4. Экспериментальные результаты

4.1. Данные вертикального зондирования

ВЧХ, полученные в ходе двух экспериментов 6 мая 2006 г., приведены на рис. 2 и рис. 3. Здесь и далее h' – действующая высота. В 11:10 до излучения АС след О-компоненты на ВЧХ был

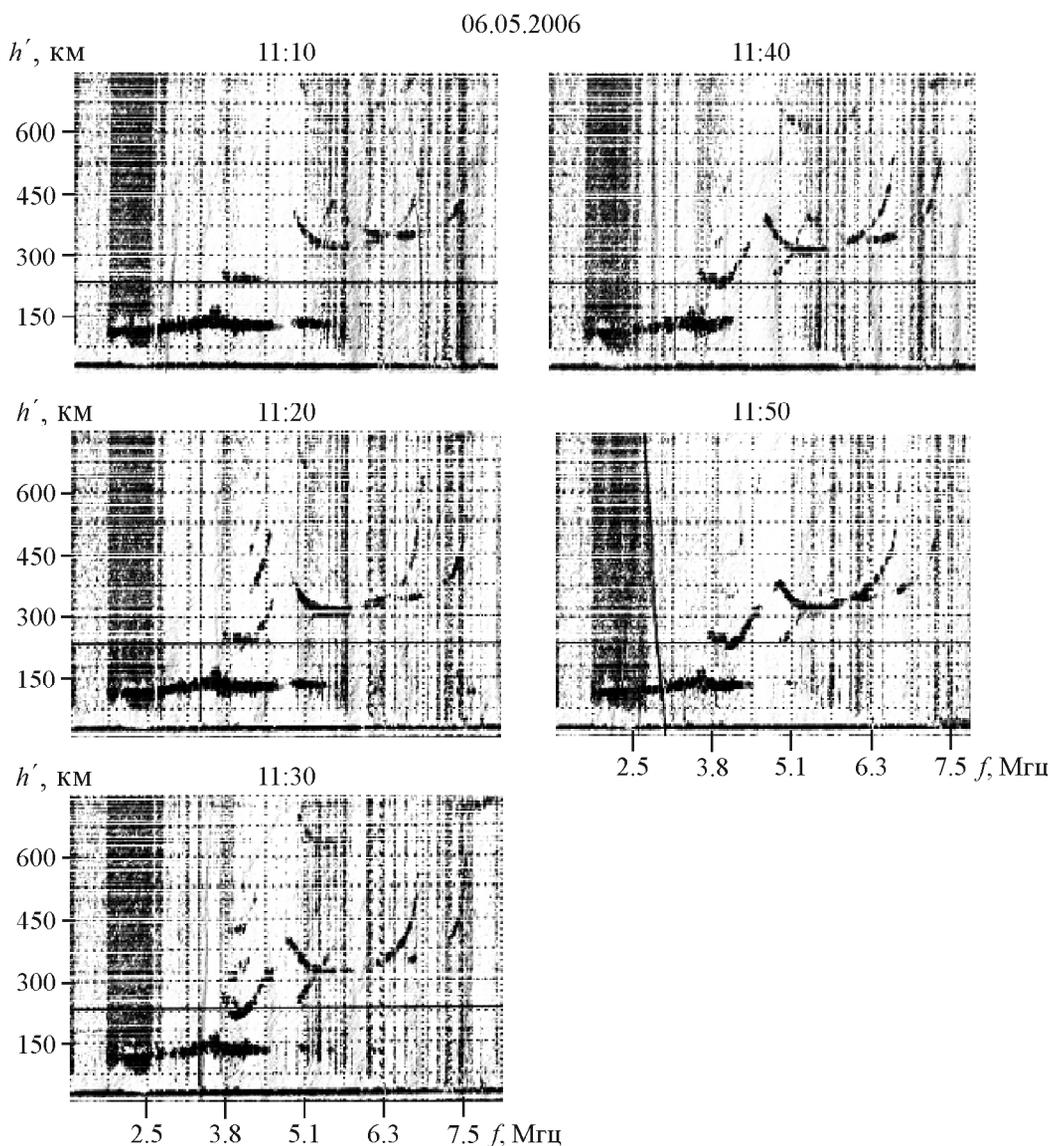


Рис. 2. ВЧХ до и после излучения АС 6 мая 2006 г. в 11:12

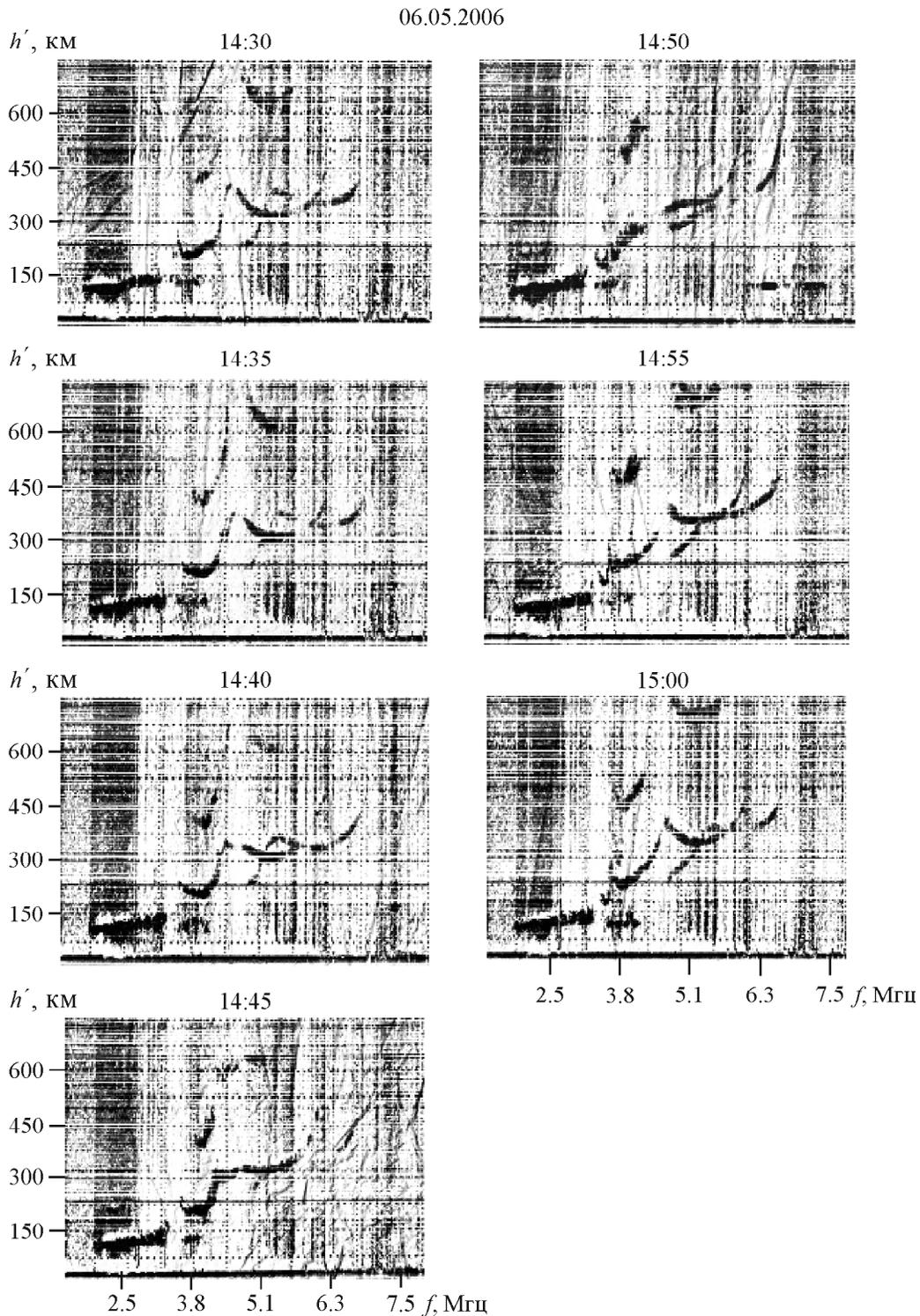


Рис. 3. ВЧХ до и после излучения АС 6 мая 2006 г. в 14:31

сплошным (рис. 2). После воздействия АС (начало в 11:12) в 11:20 наблюдался разрыв следа ВЧХ между слоями F1 и F2, т. е. образовалась межслоевая впадина F1–F2 (см. ВЧХ в 11:20). В 11:25

(через 13 мин после начала воздействия АС) разрыв в ВЧХ и межслоевая впадина F1–F2 исчезли.

Воздействие АС в 14:31 привело к иному эффекту. Как видно на рис. 3, на ВЧХ в 14:30 наблю-

дался четкий слой F1. После излучения АС слой F1 незначительно изменился и появилось его расслоение (см. ВЧХ в 14:35). На ВЧХ в 14:40 наблюдалось расслоение как в районе максимума слоя F1, так и в нижней части слоя F2. В 14:45 расслоение слоя F2 в его нижней части усилилось, а слой F1 продолжал разрушаться. В 14:50 (через 19 мин после начала воздействия АС) слой F1 почти исчез, и ВЧХ приняла типичный для зимнего времени вид, характеризующийся отсутствием слоя F1. В 14:55 (через 24 мин после начала воздействия АС) ВЧХ приняла первоначальный вид с явным наличием слоя F1. В 15:00 слой F1 усилился, и в дальнейшем ВЧХ имела вид, характерный для данного сезона.

На рис. 4 приведены ионограммы, зарегистрированные дигизондом в Прухонице (Чехия, географические координаты: 50° с. ш., 14.6° в. д., <http://car.uml.edu/common/DIDBFastStationList>), которые были получены в тот же промежуток времени, что и в Харькове (см. рис. 2 и рис. 3). Они показывают типичную геофизическую картину для околополуденного времени. На ионограммах с 11:00 до 11:45 присутствует четко выраженный слой F1. В рассматриваемый период времени разрыв следа в ВЧХ между слоями F1 и F2 отсутствует, т. е. межслоевая впадина F1–F2 в ионосфере над Прухонице не наблюдалась. Это может свидетельствовать о том, что образовавшаяся межслоевая впадина F1–F2 в ионосфере над Харьковом (см. рис. 2) была вызвана активным акустическим воздействием.

Характер поведения слоя F1 на ионограммах, полученных в Прухонице в период 14:15–15:00, не менялся в отличие от ионограмм с исчезновением слоя F1 (см. рис. 3) в Харькове. Это также может подтверждать наши предположения о том, что эффекты в ионосфере над Харьковом 6 мая связаны с акустическим воздействием.

ВЧХ, зарегистрированные в эксперименте 17 октября 2006 г., приведены на рис. 5. До излучения АС, которое осуществилось в 10:57, на ВЧХ в 10:45, 10:50 и 10:55 четко наблюдался слой F1. После начала воздействия АС слой F1 в 11:00 на ВЧХ не отмечался. В 11:05 появился слабо развитый слой F1. Начиная с 11:10, как видно из ВЧХ в 11:10, 11:15 и 11:20, слой F1 усилился. Таким образом, имел место эффект, аналогичный эффекту, наблюдавшемуся в эксперименте с воздействием АС 6 мая 2006 г. в 14:31.

4.2. Данные радара НР

На рис. 6 представлены высотно-временные зависимости сечения рассеяния σ (в относительных единицах), пропорционального qh^2 , где q – отношение мощности НР сигнала к мощности шума, h – высота наблюдения. Видно, что с 11:00 (через 3 мин после излучения АС) значение σ начало уменьшаться (см. также рис. 7), слой F2 вблизи максимума стал уже, на 5-й минуте после излучения АС слой восстановился, до 11:10 высота максимума снижалась, а затем заметно росла до 11:20. Через 3 мин после начала генерации второй последовательности АС сечение рассеяния вблизи максимума слоя F2 уменьшилось. Начиная с 11:20 (через 23 мин после первого излучения АС) максимум сечения рассеяния постепенно увеличивался, его высота незначительно росла. Рост высоты слоя прекратился в 11:36, а с 11:50 до 11:58 она увеличилась примерно на 8 км.

Временная зависимость максимума высотного профиля сечения рассеяния σ_{\max} представлена на рис. 7, а на рис. 8 показаны высотные зависимости сечения рассеяния (в относительных единицах). Рис. 7 иллюстрирует возрастание σ_{\max} до начала акустического воздействия, снижение σ_{\max} с момента начала излучения АС в течение 13 мин примерно на 12 % и его увеличение на 31 % в течение периода с 11:20 до 12:00. Из рис. 8, а видно, что до излучения АС максимум сечения рассеяния находился на высоте 210 км. После воздействия АС (в 10:57) σ_{\max} начало уменьшаться, а высота максимума к 11:10 уменьшилась приблизительно на 15 км, после чего начала возрастать. Через 20 мин после начала воздействия АС рост высоты максимума слоя замедлился, и к 11:30 она достигла своего первоначального значения 210 км, а с 11:50 до 12:00 постепенно выросла до 218 км (см. рис. 8, б).

Из рис. 8 видно также, что перегиб на профиле $\sigma(h)$ на высоте около 170 км после воздействия АС исчез, а потом снова появился. Таким образом, данные наблюдений методом НР согласуются с результатами наблюдения методом вертикального зондирования.

5. Обсуждение

Механизм воздействия АС с описанными выше параметрами до конца не понятен. Дело в том, что АС с частотой 195 Гц поглощается в нижней

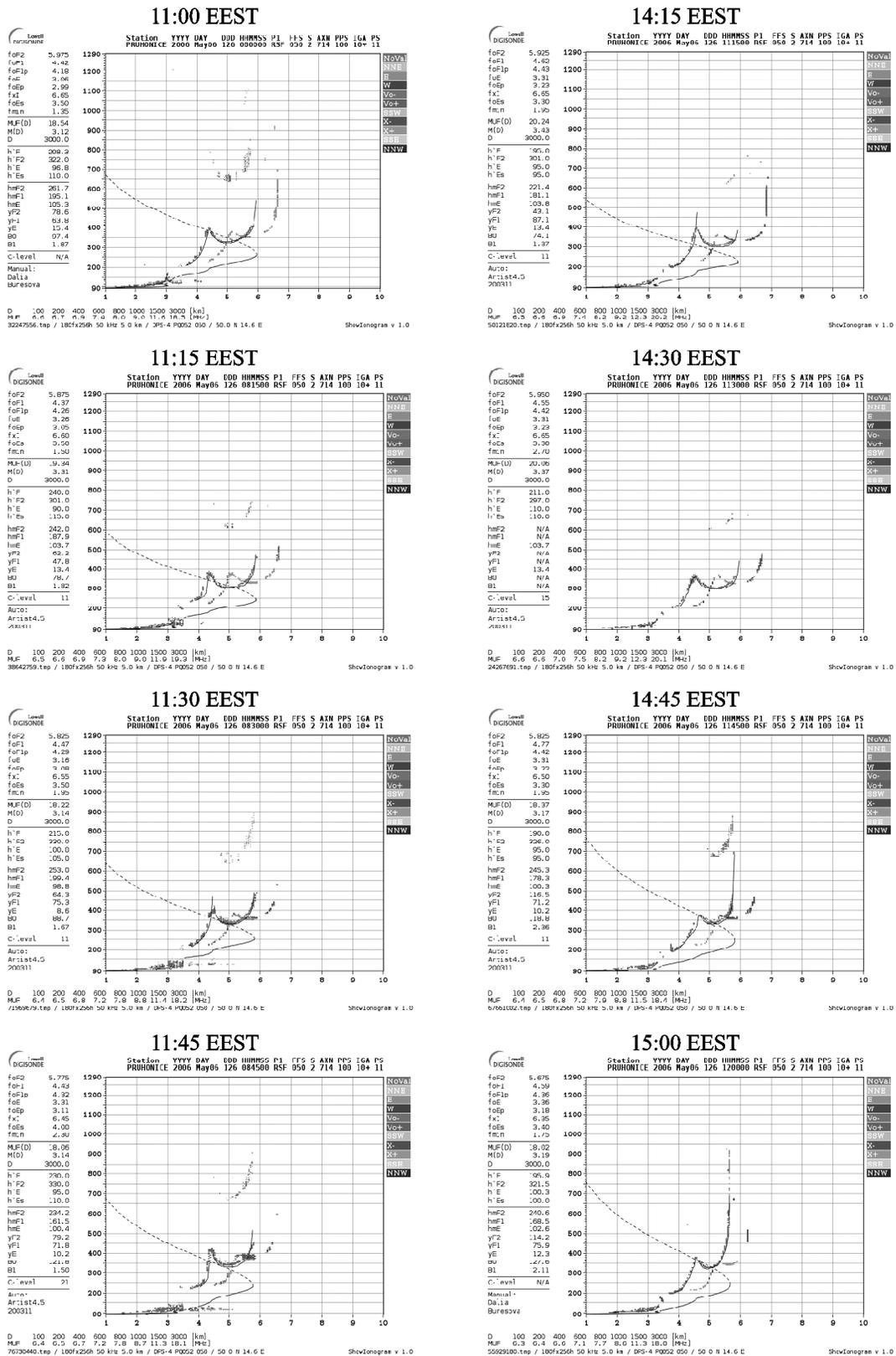


Рис. 4. ВЧХ, зарегистрированные ионозондом в Прухонице до и после излучения АС в 11:12 (левая колонка) и 14:31 (правая колонка) 6 мая 2006 г. (<http://car.uml.edu/common/DIDBFASTStationList>)

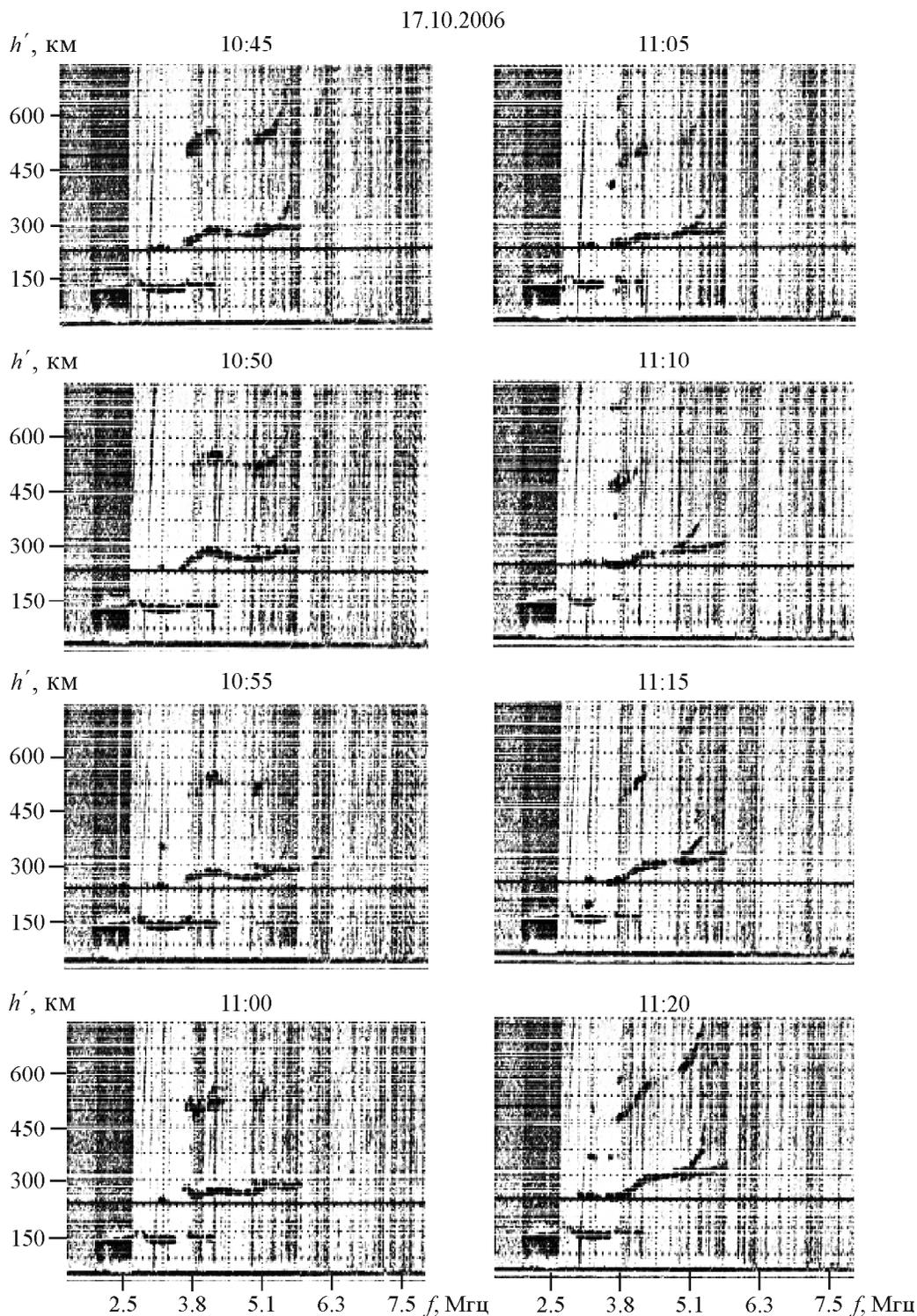


Рис. 5. ВЧХ до и после излучения АС 17 октября 2006 г. в 10:57 и 11:07

атмосфере. Несколько выше распространяется АС на разностной частоте 25 Гц, который может генерироваться за счет нелинейных свойств атмосферы.

В то же время эксперименты, проведенные авторами [11, 12], свидетельствуют о возможности влияния слабого АС на ионосферу. Не исключено, что АС выступил в качестве спусково-

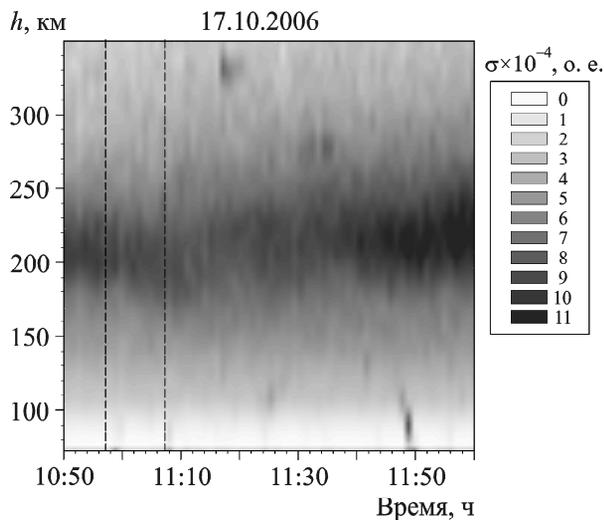


Рис. 6. Высотно-временные зависимости сечения рассеяния, измеренные 17 октября 2006 г. (начало излучения АС в 10:57 и 11:07)

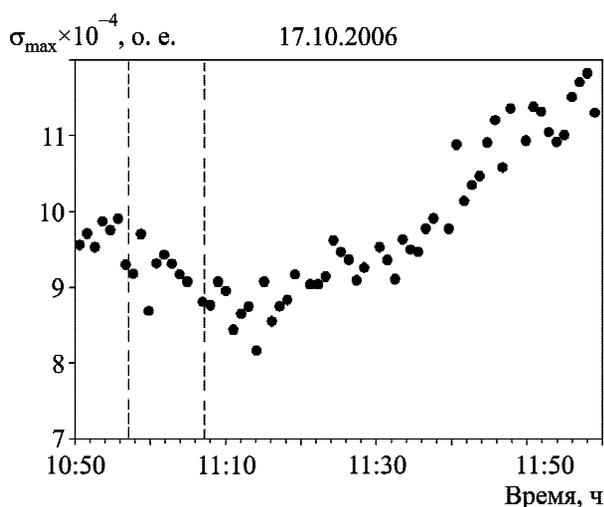


Рис. 7. Временная зависимость максимума высотного профиля сечения рассеяния 17 октября 2006 г. (начало излучения АС в 10:57 и 11:07)

го механизма. При этом принципиально возможно высвобождение энергии, запасенной в атмосфере.

В работах [11, 12] изложены результаты наблюдений возмущений в ионосфере, сопутствовавших воздействию АС на атмосферу, при помощи радиоастрономического метода, метода слабонаклонного зондирования ионосферы и метода рассеяния радиоволн. Если наблюдаемые возмущения в ионосфере были вызваны воздействием АС, то времена их запаздывания должны составлять

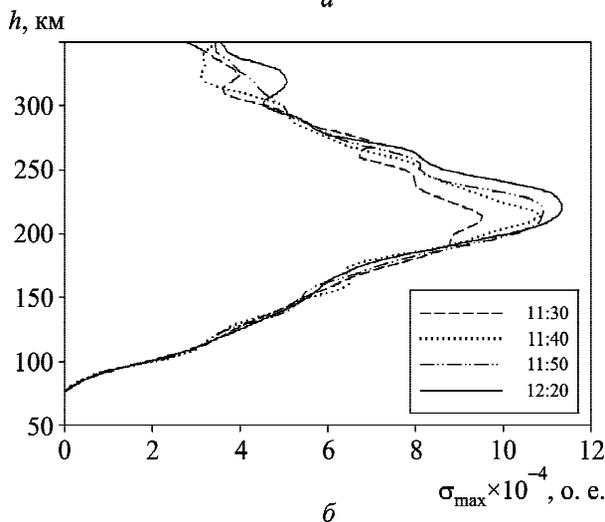
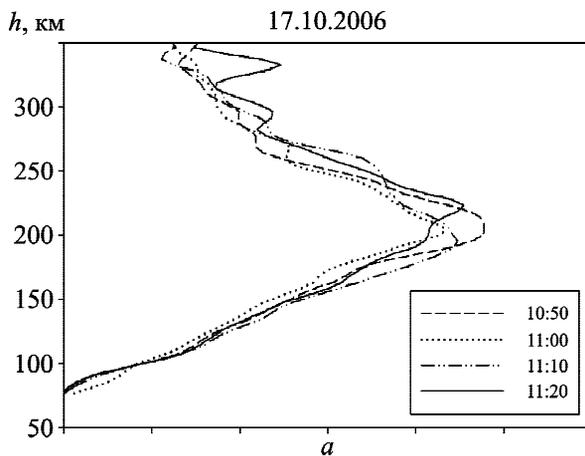


Рис. 8. Высотные профили сечения рассеяния (начало излучения АС в 10:57 и 11:07): а – с 10:50 до 11:20; б – с 11:20 до 12:20

около 6, 20, 30, 40 и 60 мин для радиоастрономического метода, 3 ÷ 4, 11 ÷ 14, 23 ÷ 24, 32 ÷ 33, 37 ÷ 40, 50, 57 ÷ 59 и 72 ÷ 76 мин для метода слабонаклонного зондирования ионосферы, а также 7, 22 ÷ 25 мин для метода рассеяния радиоволн [11, 12]. В последнем случае возмущения были бы периодическими с периодами 10, 20 и 40 мин. Скорее всего, периодическими были бы и возмущения, наблюдаемые при помощи радиоастрономического метода и метода слабонаклонного зондирования ионосферы [11, 12]. При этом период был бы близок к 10 мин. Как известно, такие периоды имеют атмосферные гравитационные волны, приводящие к перемещающимся ионосферным возмущениям.

За время 3 ÷ 4, 6 и 11 ÷ 14 мин АС достигает высот 50 ÷ 60, 110 ÷ 120 и 250 ÷ 400 км соответ-

ственно. Им соответствуют начало ионосферы, слой E и максимум ионизации ионосферы.

В методе вертикального зондирования время запаздывания возмущений было около 8 мин, что необходимо для достижения АС высот 160 ÷ 170 км, где и формируется слой F1 и межслоевая впадина F1–F2.

Возмущения, наблюдаемые методом НР на высоте около 200 км, имели запаздывание около 9–10 мин. Примерно такое время необходимо для достижения АС высоты ~200 км.

Соответствие времен запаздывания возмущений, наблюдаемых нами, временам запаздывания, приведенным в работах [11, 12], различие характера ионограмм, зарегистрированных в Харькове и Прухонице, свидетельствуют в пользу того, что обнаруженные возмущения в F-области ионосферы могли быть вызваны АС. Однозначно утверждать, что это так, нельзя из-за того, что реакция на возможное действие АС наблюдалась на фоне естественных ионосферных процессов. Кроме того, число включений акустического генератора было недостаточно большим для подтверждения обнаруженных закономерностей. Поэтому проведенные эксперименты и их результаты следует рассматривать как предварительные.

Обсудим поведение слоя F1 и соответственно межслоевой впадины F1–F2, сопровождавшее воздействие на атмосферу АС. Как известно, теория слоя F1 разработана еще недостаточно, а моделирование слоя F1 сталкивается с большими трудностями [21]. Поэтому поведение области F ионосферы при различных гелиогеофизических условиях, в том числе при акустических воздействиях, представляет интерес как для фундаментальных исследований, так и для решения прикладных задач геофизики и распространения радиоволн. В работах [22, 23] исследуется поведение слоя F1 и высоты его максимума с помощью однопараметрического семейства кривых, параметром которого является относительный ионный состав

$$X = \frac{[O^+]}{N_e} \frac{[O^+]}{[M^+]},$$

где квадратные скобки обозначают концентрацию ионов; $[M^+]$ – сумма концентраций молекулярных ионов, что позволило получить в аналитическом виде условия возникновения на профиле кон-

центрации электронов $N_e(h)$ максимума или перегиба. С ростом $[M^+]$ параметр X уменьшается и слой F1 развит сильнее. Такое явление наблюдалось 6 мая 2006 г. при излучении АС в 11:12. С ростом $[O^+]$ и увеличением относительной концентрации $[O^+]/N_e$ параметр X растет и появление слоя F1 становится проблематичным, а при сильном росте $[O^+]$ его появление становится невозможным. Такое поведение слоя F1 наблюдалось при излучении АС 6 мая 2006 г. в 14:31 и 17 октября 2006 г. в 10:57.

Параметр X изменяется за счет изменения скорости химических реакций и нейтрального состава верхней атмосферы. С этим же связаны вариации высоты слоя F2 и сечения рассеяния σ , наблюдавшиеся при помощи метода НР.

Таким образом, имеющиеся данные позволяют предположить, что действие АС привело к изменению состава и скорости химических реакций на высотах 160 ÷ 200 км.

Появление межслоевой впадины F1–F2, по-видимому, вызвано увеличением концентрации молекул нейтральной атмосферы N_2 , O_2 и концентрации молекулярных ионов M^+ в результате воздействия АС на ионосферу.

Возможно, исчезновение слоя F1 связано с увеличением концентрации атомов кислорода O и концентрации ионов O^+ в результате воздействия АС на ионосферу.

6. Выводы

1. Обнаружены изменения в динамике слоя F1 ионосферы после воздействия АС.
2. Выявлены вариации (уменьшение с последующим увеличением или без него) высоты максимума ионизации слоя F2 и его толщины, а также сечения рассеяния на высотах вблизи максимума ионизации ионосферы после воздействия АС.
3. Обнаруженные методами НР и вертикального зондирования эффекты могут быть связаны с изменением вертикальной структуры нейтральной атмосферы в результате акустического воздействия. Об этом свидетельствует регистрация 6 мая и 17 октября 2006 г. ВЧХ, не свойственных периодам наблюдений.
4. Для доказательства влияния АС, излучаемого генератором ЛЦ ИКИ, требуется проведение систематических экспериментов с привлечением как наземных, так и спутниковых средств диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тематический выпуск, посвященный проекту МАССА // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1985. – № 11. – 112 с.
2. Гармаш К. П., Гритчин А. И., Леус С. Г., Пахомова О. В., Похилько С. Н., Черногор Л. Ф. Исследование реакции ионосферной плазмы на воздействия подземных, наземных, воздушных взрывов и землетрясений. В кн.: Физика космической плазмы. Сборник трудов международного семинара. – Киев: НКАУ, 1994. – С. 151–160.
3. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – Т. 8, № 1. – С. 59–106.
4. Черногор Л. Ф. Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. 1 // Нелинейный мир. – 2006. – Т. 4, № 12. – С. 655–697.
5. Черногор Л. Ф. Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера как открытая динамическая нелинейная физическая система. 2 // Нелинейный мир. – 2007. – Т. 5, № 4. – С. 198–231.
6. Черногор Л. Ф. О нелинейности в природе и науке. – Харьков: Из-во ХНУ имени В. Н. Каразина, 2008. – 528 с.
7. Черногор Л. Ф. Радиофизические и геомагнитные эффекты стартов ракет. – Харьков: Из-во ХНУ имени В. Н. Каразина, 2009. – 386 с.
8. Черногор Л. Ф. Физика и экология катастроф. – Харьков: Из-во ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. – 556 с.
9. Таран В. И., Подъячий Ю. И., Смирнов А. Н., Герштейн Л. Я. Возмущения ионосферы после мощного наземного взрыва по наблюдениям методом некогерентного рассеяния // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1985. – № 11. – С. 75–79.
10. Domnin I. F., Panasenko S. V., Uryadov V. P., and Chernogor L. F. Results of Radiophysical Study of Wave Disturbances in the Ionospheric Plasma During Its Heating by High-Power HF Radio Transmission of “Sura” facility // Radiophysics and Quantum Electronics. – 2012. – Vol. 55, No. 4. – P. 253–265.
11. Кошовий В. В., Сорока С. О. Акустичні збурення іоносферної плазми наземним випромінювачем. 1. Експериментальне виявлення акусто-іоносферних збурень // Космічна наука і технологія. – 1998. – Т. 4, № 5/6. – С. 5–17.
12. Кошевой В. В. Радиофизическая и радиоастрономическая диагностика ионосферных эффектов, вызванных наземным инфразвуковым излучателем (предварительные результаты) // Изв. вузов. Радиофизика. – 1999. – Т. 42, № 8. – С. 785–798.
13. Назарчук З. Т., Кошевой В. В., Сорока С. А., Ивантишин О. Л., Лозинский А. Б., Романишин И. М. К вопросу акустико-электромагнитного зондирования ионосферы // Космічна наука і технологія. – 2003. – Т. 9, додаток до № 2. – С. 17–23.
14. Лысенко В. Н., Сорока С. А., Таран В. И., Тырнов О. Ф., Черногор Л. Ф. Комплексные наблюдения динамических процессов в атмосферно-ионосферно-магнитосферной системе, сопровождавших акустическое воздействие на приземную атмосферу. 1. Научная и практическая значимость // Шестая Украинская конференция по космическим исследованиям: Сборник тезисов. – Евпатория (Украина). – 1996. – С. 69.
15. Гармаш К. П., Емельянов Л. Я., Калита Б. И., Костров Л. С., Лысенко В. Н., Ногач Р. Т., Панасенко С. В., Склярков И. Б., Сорока С. А., Таран В. И., Тырнов О. Ф., Черногор Л. Ф. Комплексные наблюдения динамических процессов в атмосферно-ионосферно-магнитосферной системе, сопровождавших акустическое воздействие на приземную атмосферу. 2. Средства и методы // Шестая Украинская конференция по космическим исследованиям: Сборник тезисов. – Евпатория (Украина). – 1996. – С. 70.
16. Гармаш К. П., Калита Б. И., Ногач Р. Т., Сорока С. А., Черногор Л. Ф. Комплексные наблюдения динамических процессов в атмосферно-ионосферно-магнитосферной системе, сопровождавших акустическое воздействие на приземную атмосферу. 3. Процессы в атмосфере и геомагнитном поле // Шестая Украинская конференция по космическим исследованиям: Сборник тезисов. – Евпатория (Украина). – 1996. – С. 71.
17. Гармаш К. П., Панасенко С. В., Сорока С. А., Тырнов О. Ф., Черногор Л. Ф. Комплексные наблюдения динамических процессов в атмосферно-ионосферно-магнитосферной системе, сопровождавших акустическое воздействие на приземную атмосферу. 4. Процессы в мезосфере // Шестая Украинская конференция по космическим исследованиям: Сборник тезисов. – Евпатория (Украина). – 1996. – С. 72.
18. Емельянов Л. Я., Костров Л. С., Лысенко В. Н., Сорока С. А., Таран В. И., Тырнов О. Ф., Черногор Л. Ф. Комплексные наблюдения динамических процессов в атмосферно-ионосферно-магнитосферной системе, сопровождавших акустическое воздействие на приземную атмосферу. 5. Процессы в ионосфере // Шестая Украинская конференция по космическим исследованиям: Сборник тезисов. – Евпатория (Украина). – 1996. – С. 73.
19. Гармаш К. П., Емельянов Л. Я., Калита Б. И., Костров Л. С., Лысенко В. Н., Ногач Р. Т., Панасенко С. В., Склярков И. Б., Сорока С. А., Таран В. И., Тырнов О. Ф., Черногор Л. Ф. Комплексные наблюдения динамических процессов в атмосферно-ионосферно-магнитосферной системе, сопровождавших акустическое воздействие на приземную атмосферу. 6. Основные результаты // Шестая Украинская конференция по космическим исследованиям: Сборник тезисов. – Евпатория (Украина). – 1996. – С. 74.
20. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэрономия. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 659–666.
21. Schunk R. W. and Nagy A. F. Ionospheres: Physics, Plasma Physics, and Chemistry. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000. – 555 p.
22. Антонова Л. А., Иванов-Холодный Г. С. Слой F1. Условия появления и высота // Геомагнетизм и аэрономия. – 1988. – Т. 28, № 6. – С. 940–944.
23. Антонова Л. А., Иванов-Холодный Г. С. Солнечная активность и ионосфера (на высотах 100–200 км). – М.: Наука, 1989. – 168 с.

Л. Я. Смельянов¹, Т. Г. Живолуп¹, С. А. Сорока²,
О. К. Черемных³, Л. Ф. Черногор^{1,4}

¹ Інститут іоносфери НАН і МОН України,
вул. Червонопрапорна, 16, м. Харків, 61002, Україна

² Львівський центр Інституту космічних досліджень
НАН України та ДКА України,
вул. Наукова, 5а, м. Львів, 79000, Україна

³ Інститут космічних досліджень НАН України
та ДКА України,
пр-т Академіка Глушкова, 40, корп. 4/1, м. Київ,
03680, Україна

⁴ Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

НАЗЕМНИЙ АКУСТИЧНИЙ ВПЛИВ НА АТМОСФЕРУ: РЕЗУЛЬТАТИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ МЕТОДАМИ НЕКОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЯННЯ І ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДУВАННЯ

Наведено результати експерименту, виконаного у 2006 р. Львівським центром Інституту космічних досліджень (ЛЦ ІКД) та Інститутом іоносфери (м. Харків) щодо дослідження реакції іоносфери на акустичну дію. Як джерело акустичного сигналу використовувалося устаткування ЛЦ ІКД, встановлене на території Іоносферної обсерваторії Інституту іоносфери. Діагностика змін в іоносфері здійснювалася радаром некогерентного розсіяння із зенітною антеною та іонозондом "Базис" Інституту іоносфери, а також контрольною апаратурою ЛЦ ІКД. Виявлено зміни параметрів іоносфери на висотах 160 ÷ 200 км, що слідували за впливом на атмосферу акустичного сигналу.

L. Ya. Emelyanov¹, T. G. Zhivolup¹, S. A. Soroka²,
O. K. Cheremnykh³, and L. F. Chernogor^{1,4}

¹ Institute of Ionosphere, National Academy of Sciences
of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine,
16, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

² Lviv Centre of Space Research Institute, National Academy
of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine,
5-a, Naukova St., Lviv, 79000, Ukraine

³ Space Research Institute, National Academy of Sciences
of Ukraine and State Space Agency of Ukraine,
40, Glushkov Ave., build. 4/1, Kyiv, 03680, Ukraine

⁴ V. Kazarin National University of Kharkiv,
4, Svoboda Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

GROUND-BASED ACOUSTIC IMPACT ON THE ATMOSPHERE: THE RESULTS OF OBSERVATIONS BY MEANS OF INCOHERENT SCATTER AND VERTICAL SOUNDING TECHNIQUES

The results of the experiment on investigation of ionosphere response to acoustic impacts are presented. The experiment was carried out by the Lviv Centre of the Institute for Space Research (LC ISR) and the Institute of Ionosphere (Kharkiv) in 2006. The LC ISR equipment set at the Ionospheric Observatory of the Institute of Ionosphere was used as a source of acoustic signal. Diagnostics of changes in the ionosphere was carried out by the incoherent scatter radar with the zenith antenna and by the "Basis" ionosonde of the Institute of Ionosphere, as well as by the monitoring equipment of LC ISR. Some changes in parameters of the ionosphere at altitudes of 160 – 200 km that followed after the acoustic signal impact on the atmosphere were found.

Статья поступила в редакцию 15.10.2014 г.