

*В. М. СОМСИКОВ¹, К. Е. НУРГАЛИЕВА¹, Б. Т. ЖУМАБАЕВ¹, Н. М. САЛИХОВ¹,
А. С. ИНЧИН², А. ИДРИСОВ¹, Ю. М. ЯМПОЛЬСКИЙ³, А. В. ЗАЛИЗОВСКИЙ³*

АНАЛИЗ ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ НЕРАВНОВЕСНЫМИ ЭФФЕКТАМИ В АТМОСФЕРЕ

¹ДТОО «Институт ионосферы», г. Алматы,

²ДТОО «Институт космической техники и технологий»,

³Радиоастрономический институт НАН Украины, Харьков, Украина

В работе рассмотрены отличительные особенности спектра атмосферных волн в дневные иочные периоды, полученные посредством цифровой обработки данных вертикального зондирования ионосферы, полученных на украинской антарктической станции «Академик Вернадский», Антарктида ($65^{\circ}15' ЮШ$, $64^{\circ}16' ЗД$). Выявлены сезонные особенности поведения волновых возмущений на высотах ионосферы. Обсуждаются возможные механизмы этих особенностей.

Актуальность исследований динамических процессов в атмосфере, а также ее эволюционных изменений с учетом обмена энергией атмосферного газа и радиации особенно обострилась в последние десятилетия [1-4]. Это связано как с проблемами изменения климата, так и с тем, что неоднородные структуры атмосферы главным образом определяются прохождением и трансформацией в ней солнечной радиации. Величина негэнтропии атмосферы примерно равна разности энтропии потока поступающей в атмосферу ультрафиолетовой радиации и энтропии потока уходящего от земли инфракрасного излучения, который возникает в результате трансформации в атмосфере ультрафиолетовой радиации Солнца. Поэтому невозможно определить причины изменения климата, построить прогностическую модель неравновесной диссипативной системы, какой является атмосфера, если не принимать во внимание полный баланс энергии и ее зависимости от солнечной активности, сезона и других гео-гелиофизических факторов.

В более ранней работе [5] рассмотрены изменения спектра акусто-гравитационных волн (АГВ), связанные с учетом взаимодействия радиации с атмосферным газом. Установлено, что в определенных областях атмосферы, согласно расчетам, учет неравновесности приводит к существенному сдвигу спектра АГВ в высокочастотную область. Было получено, что днем спектр более высокочастотный, чем в ночное время. Этот вывод был экспериментально проверен с помощью спектральной обработки данных вариаций давления и космических лучей [6]. Статистическая обработка данных космических лучей и давления в приземном слое выявила наличие сдвига спектров колебаний в дневные часы суток в более высокочастотную область относительного ночного. Для интервалов периодов вариаций атмосферных параметров от десятка минут до нескольких часов этот сдвиг может достигать нескольких процентов.

В представленной работе рассмотрены отличительные особенности спектра волн в высокоширотной ионосфере в дневные,очные и переходные периоды суток посредством цифровой обработки данных вертикального зондирования ионосферы, полученных на украинской антарктической станции «Академик Вернадский», Антарктида ($65^{\circ}15' ЮШ$, $64^{\circ}16' ЗД$). Для этого использованы 15-ти минутные данные критической частоты за март, июнь, сентябрь, декабрь (рис. 1) 2005 года.

Март – переход от полярного дня к полярной ночи. Минимальные значения электронной концентрации в основном приходятся на 02.00–04.00 (значение времени мировое), встречаются дни, когда они приходятся на 05.00 и 06.00. Максимальные значения электронной концентрации приходятся на дневное время суток. При этом наблюдается большой разброс по времени. Время восхода и захода Солнца в начале месяца 9:13 и 23:45, в конце месяца 10:49 и 21:53.

Июнь – полярная ночь. Все максимальные значения электронной концентрации приходятся на интервал времени от 10.00 до 14.00. По минимуму значений критических частот нельзя однозначно выявить такой промежуток времени. Время восхода и захода Солнца в начале месяца 14:03 и 18:26, в конце месяца 14:32 и 18:08.

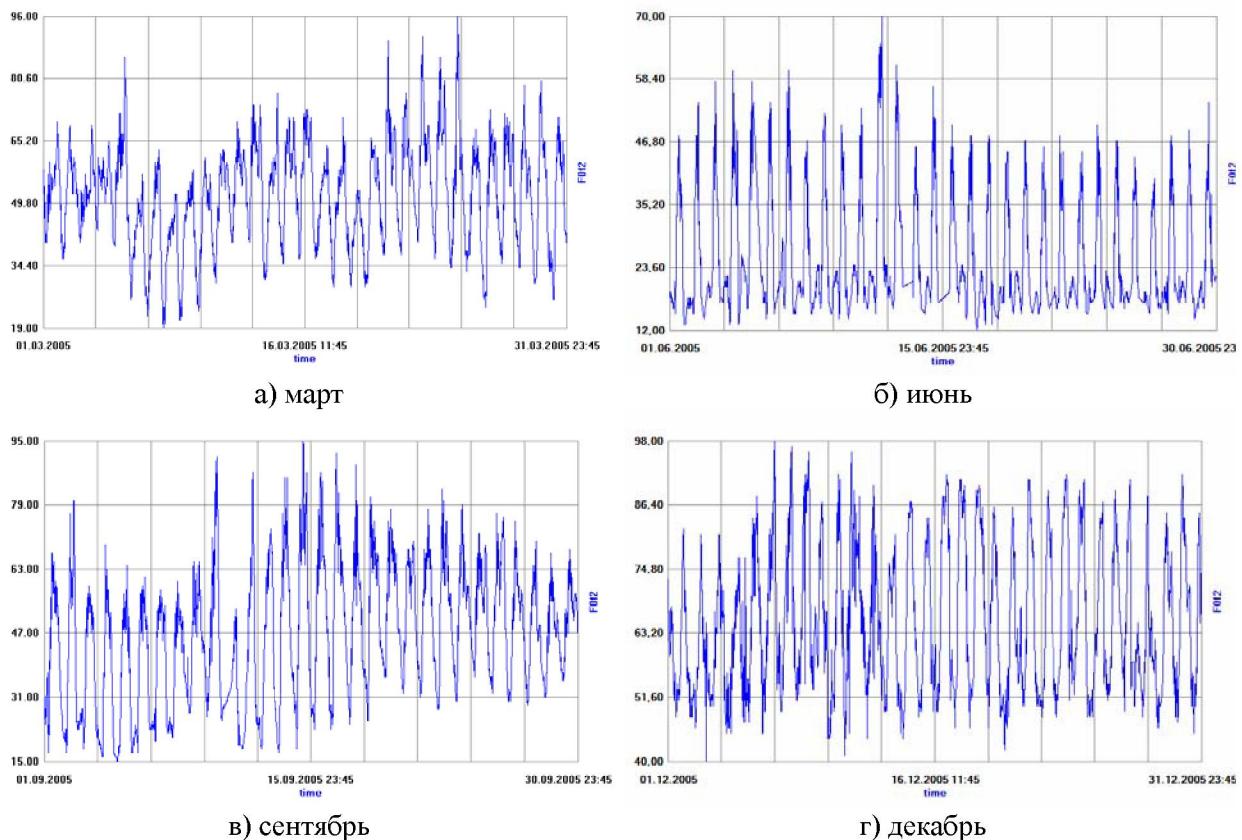


Рис. 1. Данные критических частот вертикального зондирования ионосферы, полученных на украинской антарктической станции «Академик Вернадский», Антарктида ($6^{\circ}15' \text{ ЮШ}$, $64^{\circ}16' \text{ ЗД}$) за март, июнь, сентябрь, декабрь 2005 г.

Сентябрь – переход от ночи ко дню. Минимальные значения электронной концентрации приходятся на ночь в основном в интервале времени с 3.00–7.00. Максимальные значения электронной концентрации – в дневное время, разброс по времени большой. Время восхода и захода Солнца в начале месяца 11:22 и 21:11, в конце месяца 9:35 и 22:38.

Декабрь – полярный день в Антарктиде. В основном максимальное значение электронной концентрации приходится на промежуток времени 20.00–22.00. По минимальному значению критических частот, разброс по времени большой: с 7.00 до 17.00, встречаются дни, когда минимум был в 3.00 или 23.00. Время восхода и захода Солнца в начале месяца 5:47 и 2:25, в конце месяца 5:22 и 3:17.

Для обработки данных использовалась «Система обработки сигналов SOS-OMIR» (версия от 12.09.2011), разработанная в лаборатории космических систем научного назначения, института космической техники и технологий АО «НЦКИТ». Поскольку реальные данные содержали ошибки измерений из-за сбоев аппаратуры, внешних помех и других факторов, временные ряды подвергались предварительной обработке – удалялись грубые ошибки (выбросы восполнялись интерполярованием отсутствующих наблюдений). Для анализа данных выбран метод динамического спектра и анализировалось поведение динамики спектров колебаний в полосе периодов 15 мин – 3 часа, длина шага по выбранному ряду составляет 15 мин, длина куска равна шести часам. Полученные характерные спектры для каждого выбранного периода приведены на рис. 2.

В переходные месяцы: март (рис. 2, а) и сентябрь (рис. 2, в), тенденция смещения спектра волновых возмущений в зависимости от времени дня и ночи четко не проявляется. Причиной тому могут быть различные явления, происходящие на солнце и в приземном слое, а также особенности динамики полярной ионосферы. В марте выявлено 58% случаев, а в сентябре – 50% случаев смещения спектральных возмущений в высокочастотную область в восходные часы.

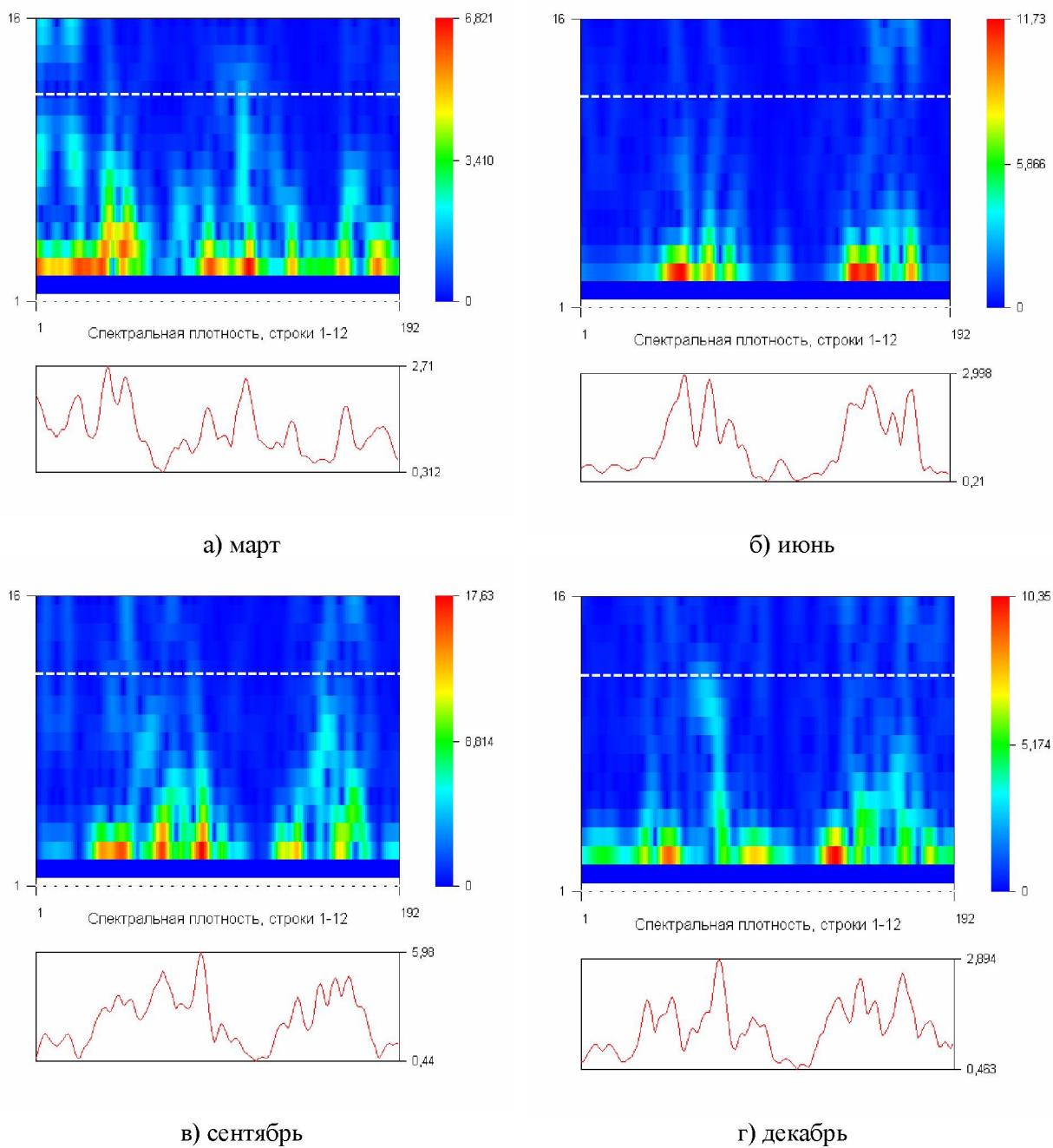


Рис. 2. Динамический спектр данных за две сутки каждого месяца, соответственно: март, июнь, сентябрь, декабрь

В декабре (рис. 2, г) выявлено 75% случаев смещения спектральных возмущений в высокочастотную область в восходные часы.

В июне (полярная ночь, рис. 2, б) четко прослеживается сдвиг спектра в высокочастотную область во время восхода Солнца и сдвиг спектра в низкочастотную область после захода Солнца (восход Солнца приходится на период времени 14 часов мирового времени, заход – на 18 часов мирового времени, длительность дня составляет 4 часа). Выявлено 80% случаев смещения спектральных возмущений в высокочастотную область в восходные часы.

Согласно проведенным теоретическим расчетам скорость затухания высокочастотной составляющей должна быть выше скорости низкочастотной составляющей волновых возмущений в рамках неравновесной модели атмосферы. Для экспериментальной проверки данного результата была проанализирована спектральная плотность волновых возмущений за июнь в интервале

периодов 30 мин. – 6 часов в заходное время суток. Было проведено сравнение скорости затухания высокочастотных и низкочастотных составляющих волновых возмущений, для чего выбраны были интервалы периодов 30 мин. – 180 мин. и 180 мин. – 400 мин. (спектральные плотности составляющих волновых возмущений приведены на рис. 3 и 4).

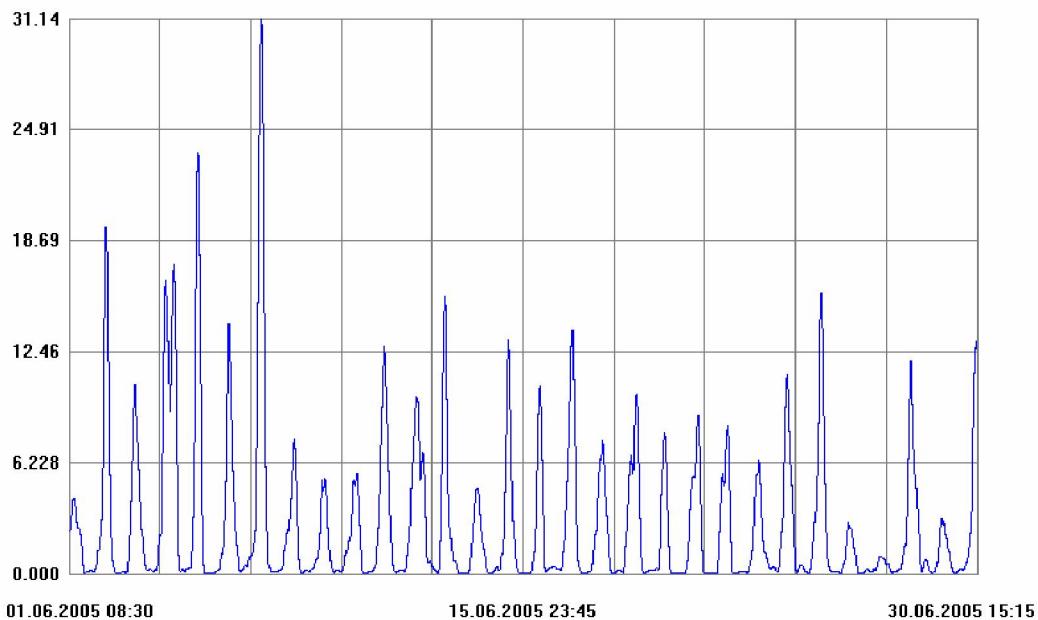


Рис. 3. Спектральная плотность высокочастотных составляющих волновых возмущений

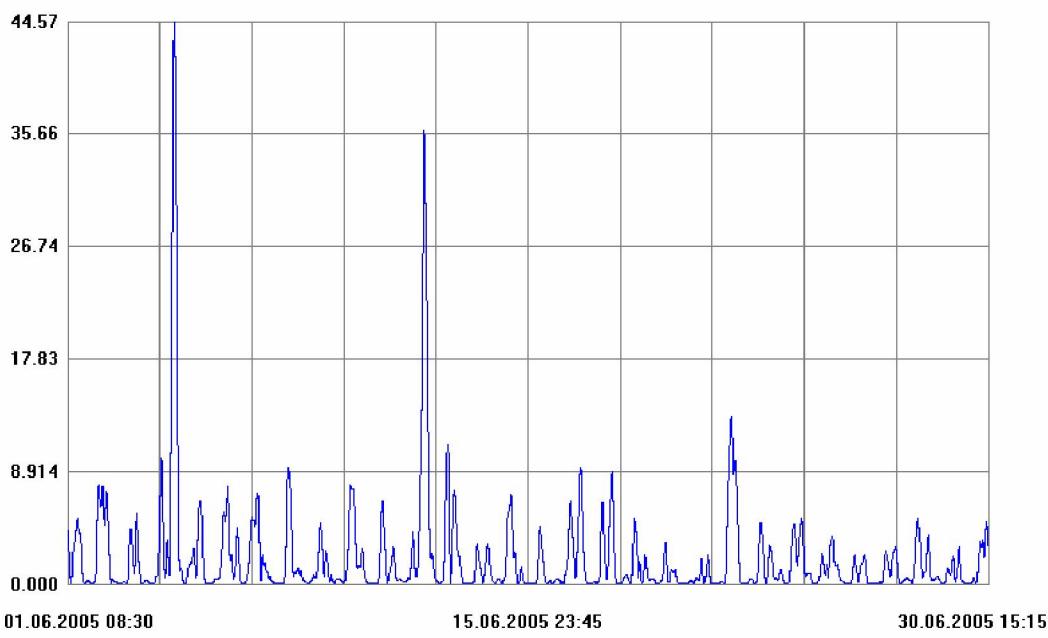
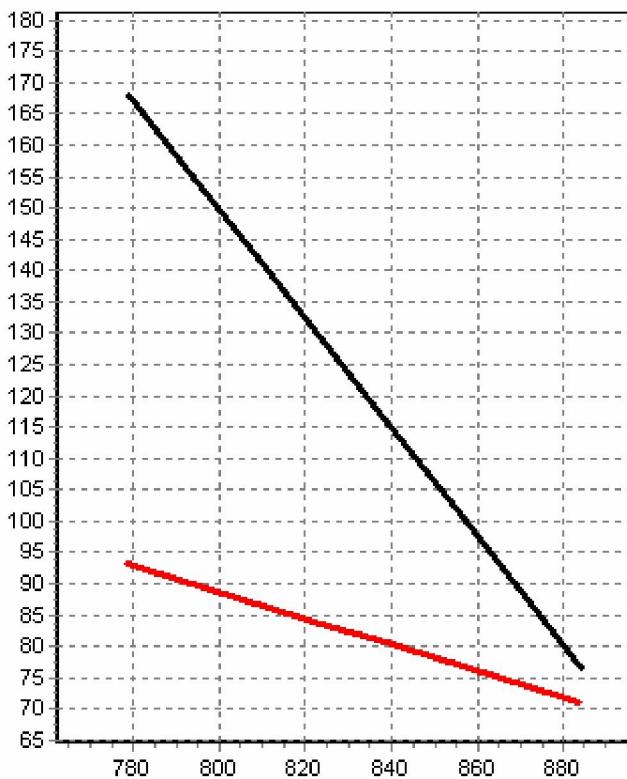


Рис. 4. Спектральная плотность низкочастотных составляющих волновых возмущений

На каждом участке, соответствующему заходному периоду, наклон графиков аппроксимировался прямой, суммировался за месяц и делился на 30 для получения значения средней скорости затухания волновых возмущений в выбранном интервале частот. Результирующий график приведен на рис. 5.



Серая – низкочастотная составляющая, соответствующая интервалу периодов 180 мин. – 400 мин.,
черная – высокочастотная составляющая, , соответствующая интервалу периодов 30 мин. – 180 мин.

Рис. 5. Аппроксимированные прямые
для расчета средней скорости затухания волновых возмущений за месяц

Из рис. 5 видно, что скорость затухания высокочастотной составляющей (тангенс угла наклона) выше, чем скорость затухания низкочастотной составляющей волновых возмущений.

Таким образом, экспериментальные данные качественно подтверждают результаты теоретических расчетов, проведенных на основе уравнений неравновесной термодинамики. В частности, более высокочастотные гармоники колебаний ионосферной плазмы в интервале акусто-гравитационных волн затухают с большей скоростью, чем низкочастотные. В июне четко проявляется тенденция сдвига спектра в высокочастотную область в восходные часы и сдвиг спектра в низкочастотную область после захода Солнца.

Работа выполнена по программе 101 «Грантовое финансирование научных исследований» в рамках темы «Развитие методов исследований неравновесной атмосферы».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Christopher E. Radiation and the irreversible thermodynamics of climate // Journal of the atmospheric sciences. – 1986. – V. 41, N 12. – P. 1985-1991.
- 2 Изаков М.Н. Самоорганизация и информация на планетах и в экосистемах // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167, № 10. – С. 1087-1094.
- 3 Пудовкин М.И., Распопов О.М. Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэрономия. – 1992. – Т. 32, № 5. – С. 1-22.
- 4 Сомсиков В. М. Гидродинамическое описание атмосферы, как открытой неравновесной системы // Проблемы эволюции открытых систем. Вып. 3. – Алматы: Эверо, 2001. – С. 44-49.
- 5 Сомсиков В.М., Гангули Б., Дунгенбаева К.Е. Акусто-гравитационные волны в неравновесной атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. – 2004. – Т. 44, № 3. – С. 407-411.
- 6 Антонова В. П., Дунгенбаева К. Е., Зализовский А. В., Инчин А. С., Крюков С. В., Сомсиков В. М., Япольский Ю. М. Различие спектров акусто-гравитационных волн в дневные иочные часы, обусловленное неравновесными эффектами в атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. – 2006. – Т. 46, № 1. – С. 106-114.

B. M. Сомсиков, K. E. Нургалиева, Б. Т. Жумабаев, Н. М. Салихов,
А. С. Инчин, А. Идрисов, Ю. М. Ямпольский, А. В. Зализовский

АТМОСФЕРАНЫҢ САЛМАҚСЫЗ ӘСЕРІНЕ БАЙЛАНЫСТЫРЫЛҒАН
ЖОҒАРЫ ЕҢДІКТЕГІ ИОНОСФЕРАНЫҢ ТОЛҚЫНДЫҚ АУЫТҚУЫНЫҢ ТАЛДАУЫ

Мақалада Украиналық Антартикадағы «Академик Вернадский», ($65^{\circ}15'$ ЮШ, $64^{\circ}16'$ ЗД) станциясында алынған ионосфераны вертикал зондтау деректерін сандық өңдеу арқылы атмосфералық толқындардың күндізгі және түнгі тарапу ерекшеліктері қарастырылған. Ионосфера биіктігінде тарапатын толқындардың мезгілге байланысты тарапу ерекшеліктері айқындалды. Ол ерекшеліктер тегінің механизмдері талқыланған.

V. M. Somsikov, K. E. Hyrgalieva, B. T. Zhumabayev, N. M. Salikhov,
A. S. Inchin, A. Idrisov, Yu. M. Yampolskiy, A. V. Zalizovskiy

THE ANALYSIS OF WAVE INDIGNATIONS OF THE HIGH-ALTITUDE IONOSPHERE CAUSED
BY NONEQUILIBRIUM EFFECTS IN THE ATMOSPHERE

The distinctive features of atmospheric waves daytime and nighttime spectrum obtained using ionosonde data from Ukraine Antarctica station «Academic Vernadskii» ($65^{\circ}15'$ S, $64^{\circ}16'$ W). The seasonal distinguishes of wave disturbances behavior on ionosphere height was revealed. The mechanism of this distinguishes discussed.