

УДК 551.510.535

ПЕРЕМЕЩАЮЩИЕСЯ ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ И ВЕТЕР В E -ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ

*З. С. Шарадзе, Г. М. Арошидзе, М. К. Гугушвили,
Г. Б. Киквилашвили, З. Л. Лиадзе, Н. В. Мосашвили,
О. В. Чухрукидзе*

Перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) в нижней термосфере на высотах образования слоев E_s в районе г. Тбилиси наблюдаются в виде квазипериодических ($T \approx 10-180$ мин) вариаций f_oE_s и f_bE_s . Скорости горизонтального движения ПИВ определялись методом кросс-спектрального анализа квазипериодических вариаций f_oE_s и f_bE_s , регистрируемых одновременно в трех разнесенных пунктах. С прохождением ПИВ в нижней термосфере связано значительное увеличение амплитуды радиоволн, отраженных от E - и E_s -слоев ионосферы. Сравнение скоростей ПИВ и ветров в нижней термосфере показало разницу между ними по направлению на $25-180^\circ$, по величине они почти не отличаются и меняются в интервале $25-250$ м/с.

ПИВ, отождествляемые с прохождением атмосферных акустико-гравитационных волн (АГВ), наиболее полно изучены на высотах F области ионосферы [1, 2]. Принято, что АГВ в верхнюю атмосферу проникают из нижних слоев. В магнитоспокойные периоды они генерируются, главным образом, в тропо-стратосфере [3], а при магнитных бурях — на высотах высокоширотной E -области ионосферы [4].

Проведенный в работах [5-7] теоретический анализ распространения АГВ на высотах F области с учетом проникновения этих волн через ветровые системы мезосферы и термосферы показал, что нейтральные ветры влияют на распространение волн на высотах ионосферы — они действуют подобно фильтру, характеристики которого зависят от соотношения величин и направлений скоростей ветра и АГВ.

Наиболее сильное влияние ветра на распространение АГВ ожидается на высотах E -области ионосферы [6]. Этим и определяется особая важность синхронного экспериментального исследования ПИВ и ветра в E -области ионосферы. Однако исследования ПИВ в нижней термосфере были затруднены тем обстоятельством, что с прохождением АГВ связаны малые вариации параметров регулярного слоя E ионосферы. К сожалению, спорадические слои $E(E_s)$ еще мало используются для исследования ПИВ, в то время как в работах [8-10] убедительно показано, что E_s четко реагируют на прохождение АГВ в нижней термосфере и анализ вариаций параметров слоя E_s (f_oE_s — критической частоты, f_bE_s — частоты экранирования) позволяет получить достоверные сведения об АГВ.

Ниже изложены предварительные результаты совместного экспериментального исследования ПИВ и ветра в E -области ионосферы в районе г. Тбилиси. Наблюдения проводились на экспериментальной базе НИЛ ионосферы Тбилисского государственного университета, где в трех разнесенных пунктах, образующих измерительный треугольник со сторонами $\sim 30-50$ км, станциями вертикального зондирования ионосферы круглосуточно в 5-минутном режиме снимались ионограммы и одновременно в одном из этих трех пунктов методом пространственно разнесенного приема с малой базой (метод Д1) измерялись скорости термосферного ветра на высотах образования слоев E_s . Цикл

наблюдений охватывал 12—15-дневный интервал в каждом сезоне 1980—1983 гг.

ПИВ на высотах E -области ионосферы преимущественно проявляются в виде короткопериодических ($T \approx 10 \div 180$ мин)-вариаций f_oE_s и f_bE_s , сдвинутых по фазе над выше указанными тремя разнесенными пунктами. С целью определения параметров АГВ (таких, как T — период, V —горизонтальная скорость, λ —горизонтальная длина волны), вызывающих ПИВ в E -области ионосферы, временные вариации f_oE_s и f_bE_s , синхронно регистрируемые в трех разнесенных пунктах, обрабатывались методом спектрального анализа [11] (описание вышеуказанной экспериментальной базы и методики обработки экспериментальных данных дается в [12]). Величина и направление горизонтальной скорости ветра определялись методом подобных замираний [13].

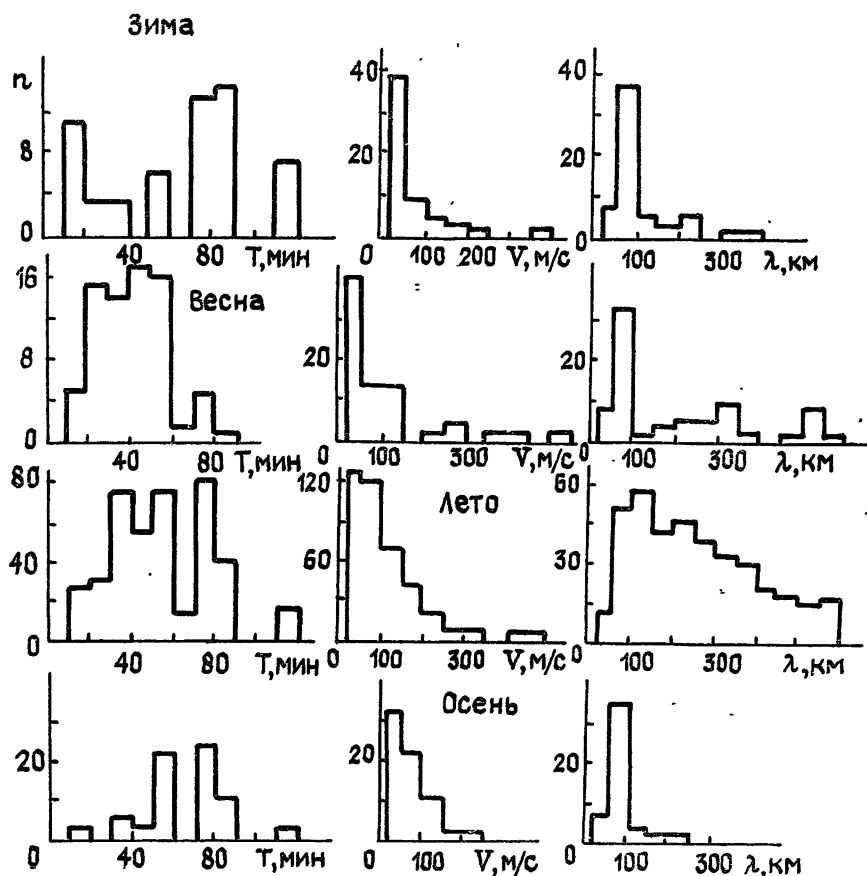


Рис. 1.

Параметры (T , V , λ) АГВ для каждого сезона, рассчитанные кросс-спектральным анализом квазипериодических вариаций f_oE_s и f_bE_s , приведены на рис. 1. Необходимо отметить, что из-за малого числа случаев появления долгоживущих (~ 3 —5 часов) спорадических слоев E в зимний, весенний и осенний сезоны, наиболее полный материал относительно ПИВ в E -области ионосферы в районе г. Тбилиси накоплен для летнего сезона. Как видно из рисунка, зимой преобладают АГВ с периодами 10—20 и 70—90 мин. Весной и летом наиболее вероятные значения периодов АГВ меняются в интервалах 20—60 и 30—90 мин соответственно. Осенью АГВ регистрируются преимущественно с периодами 50—90 мин. Во все сезоны АГВ, вызывающие ПИВ в E -области ионосферы, имеют скорости 25—100 м/с и горизонтальные размеры (кроме летнего сезона) 50—100 км; летом регистри-

руются АГВ, преобладающие горизонтальные размеры которых лежат в интервале 50 — 250 км.

С целью выявления суточных вариаций направления распространения ПИВ для каждого сезона азимуты группировались по шестичасовым интервалам (00—06, 06—12, 12—18, 18—24 чЛТ) и в виде гистограмм представлены на рис. 2. Видно, что зимой днем до полудня возмущения в основном распространяются в северо-западном, а после полудня — в юго-восточном направлениях; ночью до полуночи движение ПИВ направлено на юг. Весной днем до полудня возмущения перемещаются на юго-восток, а после полудня — на северо-запад; ночью до полуночи ПИВ распространяются в юго-восточном, а после полуночи — в юго-западном направлениях. Летом днем до полудня возмущения преимущественно распространяются в юго-западном направлении, а после полудня — на юго-восток; ночью, до полуночи преобладают ПИВ, распространяющиеся в юго-западном, а после полуночи — в северо-восточном направлениях. Осенью днем ПИВ перемещаются на запад, юго-запад; ночью до полуночи возмущения движутся на юго-восток.

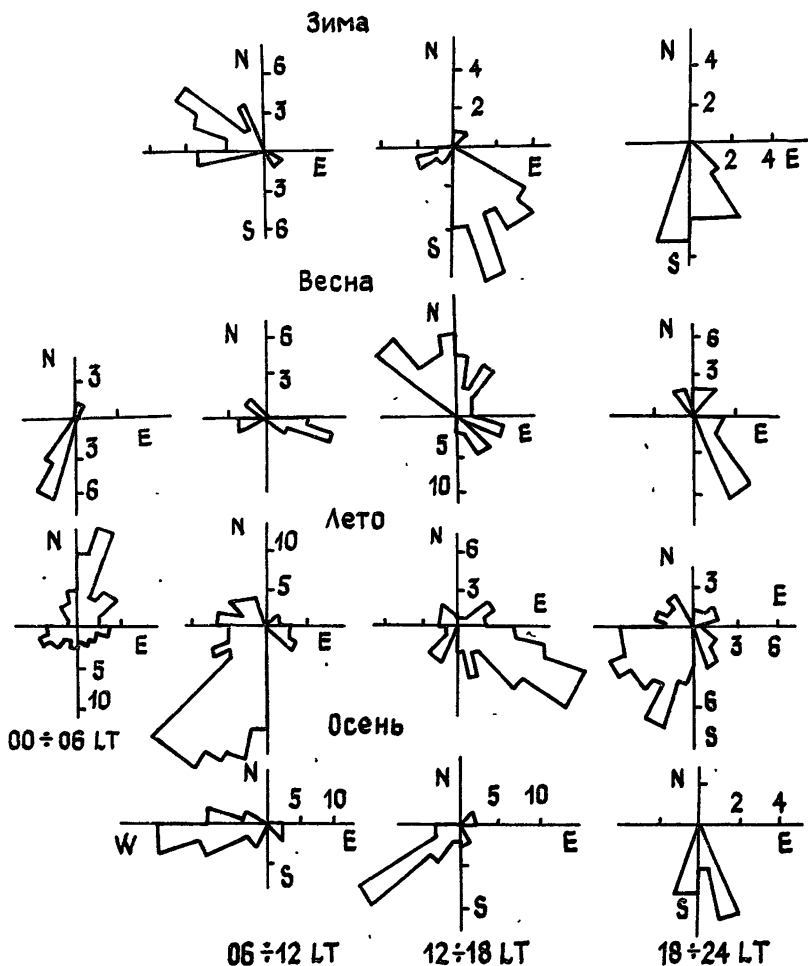


Рис. 2.

Согласно [5], АГВ распространяются преимущественно поперек или против ветра. Именно в «выборе» направления распространения АГВ должны проявляться фильтрующие свойства среды (преобладающих ветров). С целью исследования этого вопроса был проведен предварительный анализ взаимосвязи направлений распространения ПИВ и ветра. Характерные примеры ориентаций векторов скоростей

ПИБ и ветра в определенные моменты времени для отдельных летних дней (14.06.80, 21.06.81, 25.06.82, 03.07.83) приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что в основном ПИБ распространяются поперек ветра.

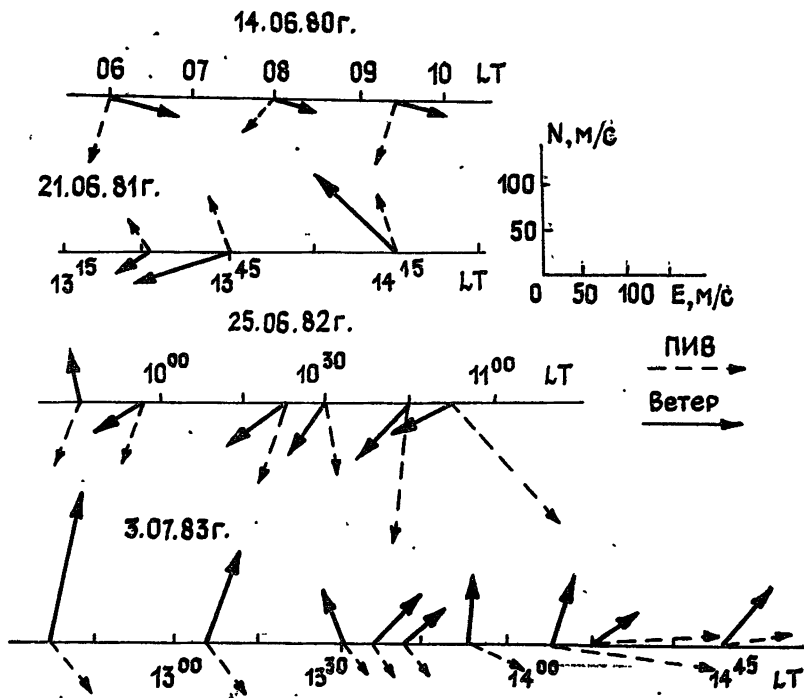


Рис. 3.

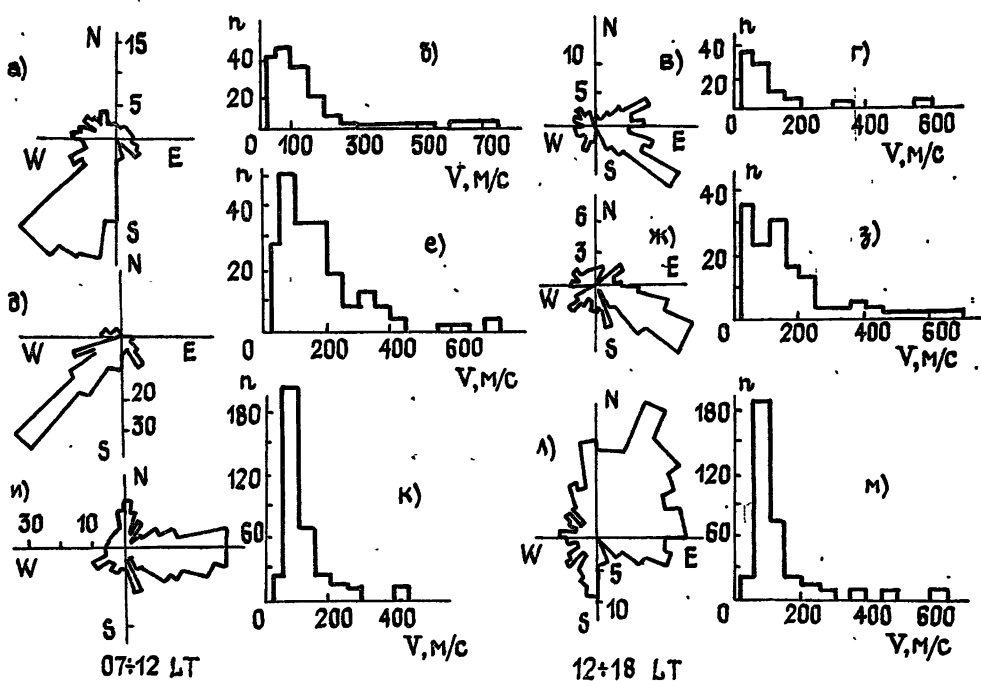


Рис. 4.

На рис. 4 в виде гистограмм представлены данные о направлениях и величинах скоростей ПИБ (а—з) и ветра (и—м), рассчитанные взаимным спектральным (а—г) и корреляционным (д—з) анализами и методом подобия (и—м) для до (06—12чLT) и послеполуночи

№го (12—18 чЛТ) периодов летнего сезона 1980—1983 гг. Из рисунка видно, что взаимный спектральный и корреляционный анализы дают почти одинаковые значения преобладающих направлений и величин скоростей ПИВ. Как известно [13], метод подобия дает чуть завышенные значения величин скорости ветра по сравнению с методом корреляционного анализа, а преобладающие направления движений почти не отличаются. Таким образом, сравнение приведенных на рис. 4 данных о ПИВ и ветре вполне оправдано и показывает, что в основном скорости ветра и ПИВ совпадают по величине, а преобладающие направления отличаются примерно на 90—120°. Следовательно, и по преобладающим направлениям можно заключить, что ПИВ распространяются поперек ветра.

Поскольку как скорость ветра, так и скорости распространения ПИВ претерпевают суточные и сезонные изменения, особый интерес представляет сопоставление этих скоростей отдельно для разных периодов суток для каждого сезона года. Сравнение ориентаций векторов скоростей ветра и ПИВ, усредненных для периодов 01—06, 06—12, 12—18, 18—24 чЛТ также показывает, что в основном ПИВ распространяются поперек ветра (особенно отчетливо это видно летом).

С прохождением ПИВ в *E*-области часто связана фокусировка (значительное увеличение амплитуды) радиоволн, отраженных как от регулярного, так и от спорадического слоя *E*. Явление фокусировки носит периодический ($T \approx 3 \div 30$ мин) характер. Следует отметить, что хотя фокусировка должна повторяться с основным периодом (T_0) волнообразного возмущения (ВВ) экрана, но при многолучевости отраженного сигнала возможны повторения фокусировки с периодами, меньшими T_0 [14]. Продолжительности эффектов фокусировки от слоя E_s обычно больше, чем от регулярного слоя *E* и меняются в интервалах 3—8 и 1—4 мин соответственно.

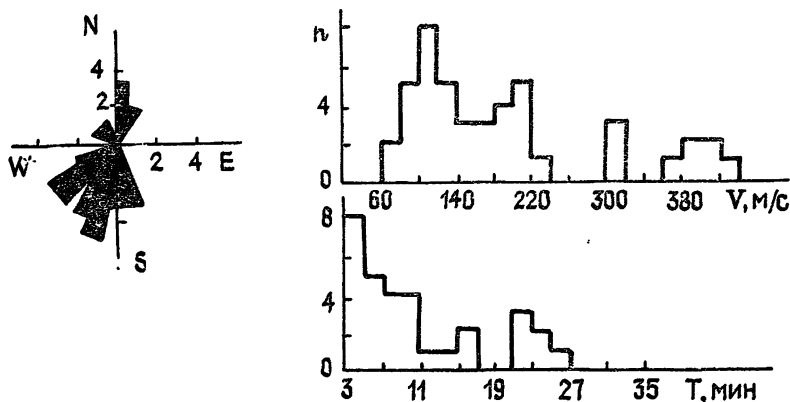


Рис. 5.

Совместный анализ ионограмм учащенных наблюдений ионосферы и записи временных вариаций амплитуды сигнала, отраженного от слоя E_s , показал, что всплески сигналов преимущественно совпадают с моментами максимального значения частотных параметров слоя E_s . Об этом ранее указывалось в [15]. Следует отметить также и то, что часто после момента фокусировки в течение 1—8 мин хаотически изменяющаяся во времени амплитуда отраженного сигнала имеет повышенное значение. Согласно [16], это может быть связано с ростом интенсивности мелкомасштабных неоднородностей при прохождении через данное место градиента плотности, связанного с ПИВ.

Временные вариации амплитуды сигналов, отраженных как от *E*-, так и от E_s -слоев и регистрируемых одновременно в указанных выше трех разнесенных пунктах, использовались для определения величины скорости и направления распространения волнообразных возмущений,

вызывающих фокусировку вблизи г. Тбилиси. Наблюдения проводились в летний период 1983 г. Результаты представлены на рис. 5 в виде гистограмм направления распространения, величины скоростей и периодов ВВ. Видно, что фокусировку вызывают ПИВ, распространяющиеся преимущественно в юго-западном направлении. Наиболее вероятные значения скорости и периодов меняются в интервалах 80 — 200 м/с и 3 — 11 мин соответственно. Согласно [17], эти параметры характерны для короткомасштабных и среднемасштабных ПИВ.

Результаты проведенного исследования дают основания сделать следующие выводы:

1) синхронное измерение короткопериодических ($T \approx 10 \div 180$ мин) вариаций частотных параметров слоя E_s в трех разнесенных на средние расстояния (~ 50 км) пунктах позволяет определить параметры (период, скорость, горизонтальную длину волны) среднемасштабных ПИВ в нижней термосфере на высотах образования слоя E_s ;

2) среднемасштабные ПИВ в нижней термосфере на высотах образования слоя E_s в основном распространяются поперек ветра;

3) с прохождением короткомасштабных и среднемасштабных ПИВ в нижней термосфере связана фокусировка радиоволн, отраженных от слоев E и E_s ионосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гершман Б. Н., Григорьев Г. И. — Изв. вузов — Радиофизика, 1968, 11, № 1, с. 5.
2. Francis S. H. — J. Atmos. Terr. Phys., 1975, 37, № 6/7, p. 1011.
3. Bertin F., Testud J., Kerslej L. — Planet. Space Sci., 1975, 23, № 3, p. 493.
4. Testud J. — J. Atmos. Terr. Phys., 1970, 32, № 11, p. 1015.
5. Hines C. O., Reddy C. A. — J. Geophys., 1967, 72, № 3, p. 1015.
6. Cowling D. H., Webb H. D., Yeh K. C. — J. Geophys. Res., 1971, 76, № 1, p. 213.
7. Yeh K. C., Webb H. D., Cowling D. H. — Nature Phys. Sci., 1972, 13, № 7, p. 1001.
8. Шарадзе З. С. — Изв. вузов — Радиофизика, 1970, 13, № 7, с. 1001.
9. Giraldez A. E. — Geophys. Res. Lett., 1980, 7, № 2, p. 170.
10. Eucken A. P. V., Williams P. J. S., Maude A. D., Morgan G. — J. Atmos. Terr. Phys., 1982, 44, № 1, p. 25.
11. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. — М.: Мир, 1972, вып. 2, с. 123.
12. Шарадзе З. С., Арошидзе Г. М., Киквилашвили Г. Б., Лиадзе З. Л., Мосашвили Н. В., Торошелидзе Т. И. — Труды Тбилисского госуниверситета. Сер. Физика, 1985, 19, с. 14.
13. Портнягин Ю. Н., Шпренгер К., Лысенко Н. А. и др. Измерение ветра на высотах 90 — 100 км наземными методами — Л.: Гидрометеоздат, 1978, с. 104.
14. Афраймович Э. Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы — М.: Наука, 1982, с. 119.
15. Srivastava S. K. — J. Atmos. Terr. Phys., 1972, 34, № 12, p. 1991.
16. Гельберг М. Г. — Геомагнетизм и аэрономия, 1981, 21, № 2, с. 251.
17. Georges T. M. — J. Atmos. Terr. Phys., 1968, 30, № 5, p. 735.

Тбилисский государственный
университет

Поступила в редакцию
1 апреля 1985 г.,
после объединения
11 октября 1985 г.

TRAVELING IONOSPHERIC DISTURBANCES AND WINDS IN THE IONOSPHERIC E-REGION

S. Sharadze, G. Aroshidze, M. Gugushvili, G. Kikvilashvili,
S. Liadze, N. Mosashvili, O. Chukhrukidze

In the lower thermosphere, at the heights of occurrence of E_s -layers traveling ionospheric disturbances (TIDs) cause quasiperiodic ($T = 10 \div 140$ min) variations of f_oE_s and f_bE_s . The velocities of TIDs were estimated from the time delays between the occurrences of maxima or minima in f_oE_s and f_bE_s , recorded by space diversity ionosondes. A comparison of the velocities of neutral winds with those of TIDs showed 25 — 180° difference between them in direction at close values 25 — 250 m/c. TID's caused focusing of radio waves, reflected from E and E_s layers,