

УДК 621.371.25

**ИНТЕНСИВНОСТЬ ВАРИАЦИЙ ИСТОЧНИКА ВГВ
И ИОНОСФЕРНЫЙ ОТКЛИК В ПЕРИОД СУББУРИ 18.09.1974 г.***Т. В. Гайворонская, Г. Ф. Дёминова, Л. А. Юдович*

Определена локализация авроральных электроструй и методами спектрального анализа выделены вариации геомагнитного поля с квазипериодами 20—25 и 40—45 мин по цепочке станций в авроральной области во время суббури. Распределение интенсивности вариаций вдоль аврорального овала позволяет идентифицировать источник ВГВ со всей западной электроструей. Спектральный анализ геомагнитных и ионосферных данных дает возможность связать вариации электроструй со свойствами генерируемых ими ВГВ.

В настоящей работе определяется область генерации крупномасштабных внутренних гравитационных волн (ВГВ) с помощью данных о вариациях магнитного поля на обсерваториях, расположенных в авроральной области северного полушария, и проводится спектральный анализ магнитных записей для нахождения характерных квазипериодов вариации магнитного поля и распределения интенсивности источника вдоль аврорального овала.

Рассматривалась интенсивная изолированная суббуря 18 сентября 1974 г. Внезапное начало SC имело место в 14 ч 30 мин UT. Анализ данных об изменениях геомагнитного поля на станциях, расположенных в послеполуденном, вечернем и ночном секторах местного времени, показал, что во всех рассматриваемых секторах местного времени сразу же после SC наблюдается резкое усиление авроральных электроструй. Для примера на рис. 1 приведены вариации H - и Z -компонент геомагнитного поля на станциях Мурманска ($LT=UT+2^h$) и Диксона ($LT=UT+5^h$). К 18 ч UT возмущение в магнитном поле почти полностью исчезло. Величина интегрального электрического тока в струях при максимальном развитии суббури оценивалась по методике, предложенной в [1], и составила $\sim 1 \cdot 10^6$ А, что характерно для интенсивных суббурь, во время которых наблюдаются крупномасштабные ВГВ.

Определение локализации электроструй было проведено непосредственно на основании данных магнитных обсерваторий, расположенных в авроральной зоне северного полушария. В послеполуденном секторе местного времени протекает восточная электроструя, ее ширина вдоль широты составляла около трех градусов (~ 330 км). С 14.30 UT до 15.20 UT струя расположена на геомагнитных широтах, примерно с 64° до 67° Ф, после 15.20 UT она резко смещается к экватору, так что ее приполюсная граница находится южнее 64° Ф. В секторах местного времени $LT > 19.00$ наблюдается западная электроструя, которая в начале возмущения локализована на широтах $\Phi = 63 \div 65^\circ$, а затем так же, как и восточная, резко смещается к экватору, так что вблизи полуночи (ст. Тикси) ее приполюсная граница смещается до $\Phi \approx 60^\circ$. В раннем утреннем секторе западная струя также локализована на широтах $\Phi = 63 \div 65^\circ$, но последующего ее смещения к экватору не наблюдается.

Для выяснения закономерностей вариаций электроструй во время суббури проводились спектральные оценки изменений во времени H - и Z -компонент магнитного поля по долготной цепочке станций, всего двенадцать станций от $\Lambda=115^{\circ},6$ (ст. Кируна) и до $\Lambda=256^{\circ},5$ (ст. Колледж), расположенных в области локализации электроструй. Магнитограммы в период суббури были оцифрованы с временным шагом 3—4 мин при общей длине выборки 10 часов. Временной интервал, используемый для спектральных оценок выбирался равным 2—2,5 ч, что соответствует средней продолжительности суббури. Для того, чтобы проследить динамику развития спектра в течение суббури, каждый последующий временной интервал, по которому рассчитывался спектр, выбирался на 15—20 минут позже предыдущего. Подробно методика расчета спектров на ЭВМ описана в [2].

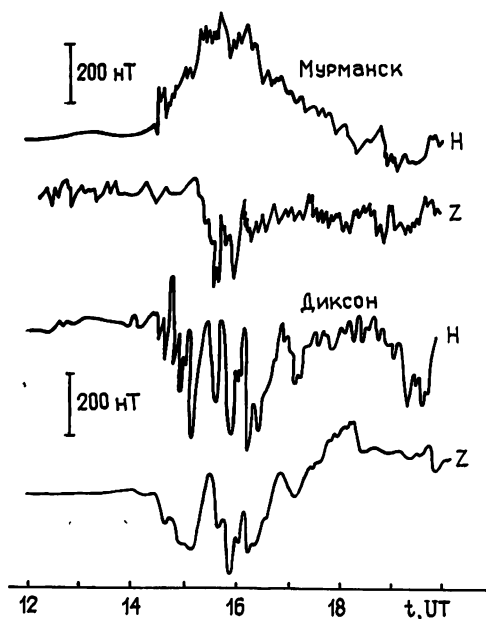


Рис 1.

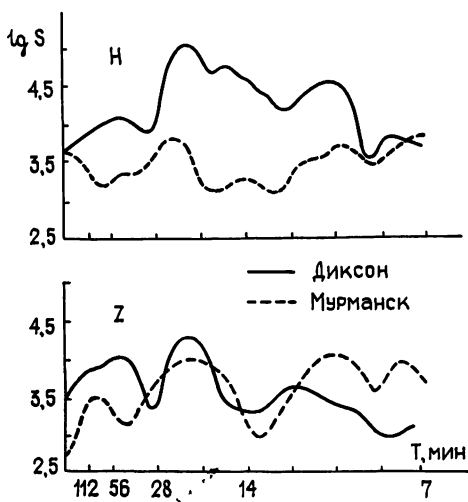


Рис. 2.

На рис. 2, в качестве примера, представлены спектры H - и Z -компонент по ст. Мурманск ($\Phi=63^{\circ},5$ N, $\Lambda=126^{\circ},9$) и Диксон ($\Phi=63^{\circ},0$, $\Lambda=161^{\circ},6$) во время суббури. По вертикальной оси отложена спектральная плотность S в логарифмическом масштабе в единицах $(нТл)^2$, по горизонтальной — шкала частот f . Зависимость спектральной плотности от квазипериодов вариаций $T=f^{-1}$ обнаруживает несколько хорошо заметных максимумов. Максимумы спектральной плотности, отмеченные при спектральной обработке магнитограмм, приходятся на квазипериоды 10, 20—25 и 40—45 мин. Рассматривая квазипериодические вариации как источник ВГВ, необходимо принимать во внимание (20--25)- и (40—45)-минутные вариации, потому что их период больше периода Вайсяля — Бранта, который составляет ~ 15 мин на высотах максимума области F и немного изменяется в зависимости от времени суток и сезона.

На рис. 3 представлена динамика развития спектра H -компоненты геомагнитного поля по ст. Мурманск и Диксон для двух отмеченных выше квазипериодов. По горизонтальной оси отложено текущее время t , оно отнесено к середине интервала, по которому велось вычисление

спектра. Наибольшие значения спектральной плотности, как и следовало ожидать, наблюдаются с 14.30 до 17.30 UT, они возрастают на порядок во время суббури по сравнению с невозмущенными значениями.

Спектральный анализ магнитограмм был выполнен для долготной цепочки станций, в районе которой в течение этого возмущения располагались электроструи. Спектральная плотность для отмеченных по всем станциям квазипериодов 20—25 мин (сплошная кривая) и 40—45 мин (штриховая кривая) рассматривалась в зависимости от местного времени или геомагнитной долготы. По существу, эта функция должна характеризовать распределение интенсивности волнового источника вдоль аврорального овала. На рис. 4 для каждой станции вычислены значения спектра H - и Z -компонент геомагнитного поля для квазипериодов, упомянутых выше. На станции Кируна, Тромсе, Мурманск приходится в это время восточная электроструя, остальные станции (Диксон, Челюскин, Тикси, Уэлен, Барроу, Колледж и три временные станции Харасовой, Сеяха, Тамбей [3]) — в области западной электроструи. Интенсивность спектра в области восточной электроструи меньше, чем в области западной, особенно для H -компоненты. В области

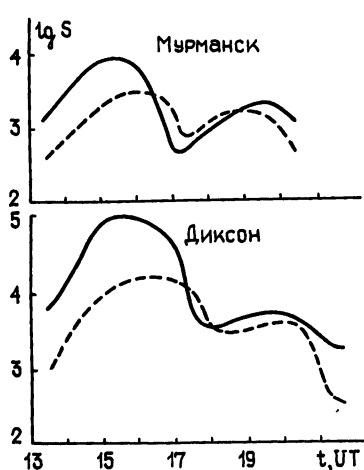


Рис. 3.

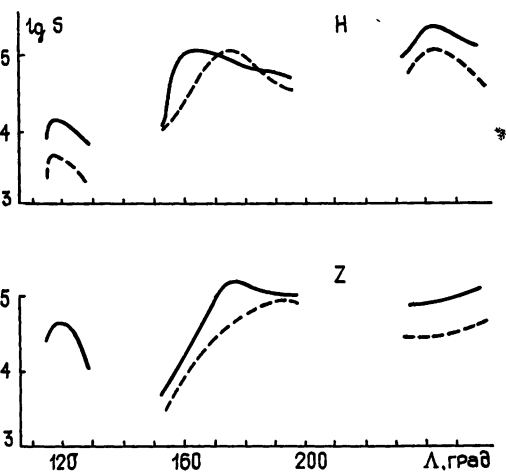


Рис. 4.

западной электроструи величина спектральной плотности быстро нарастает при $160\text{--}170^\circ \Lambda$ для обоих квазипериодов и далее при $\Lambda > 170^\circ$ сохраняет высокие значения. В целом распределение интенсивности источника ВГВ вдоль аврорального овала в области, где локализована западная электроструя, является довольно равномерным. Одним из возможных объяснений полученного распределения интенсивности вариаций и, быть может, некоторого ослабления интенсивности в средней части западной электроструи, могут служить явления интерференции вариаций магнитного поля западной и восточной электрострей, которые должны быть тем резче выражены, чем больше развита восточная электроструя. Некоторый разброс в вычисленных значениях спектра может иметь место из-за широт магнитных станций, которые находятся в интервале $\Phi \sim 60\text{--}68^\circ \text{N}$, тем не менее обсуждавшееся выше распределение интенсивности нельзя объяснить только широтной зависимостью. Это видно из рис. 5, где показаны значения спектральной плотности для квазипериодов 20—25 мин (а) и 40—45 мин (б) в зависимости от геомагнитной широты по станциям Кируна, Тромсе, Мурманск в районе восточной электроструи (крестики), Диксон, Челюскин, Тикси, Уэлен, Барроу, Колледж в районе западной электроструи (темные

точки) и Харасовой, Тамбей, Сеяха на конце западной электроструи (светлые точки). Отсутствие данных при $130\text{--}150^\circ\text{A}$ на стыке двух электроструй, к сожалению, не позволило исследовать эту область.

Во время суббури вместе с магнитными данными по отдельным станциям спектральному анализу были подвергнуты магнитные индексы AE , AL и AU . Расчеты преследовали цель выяснить, насколько

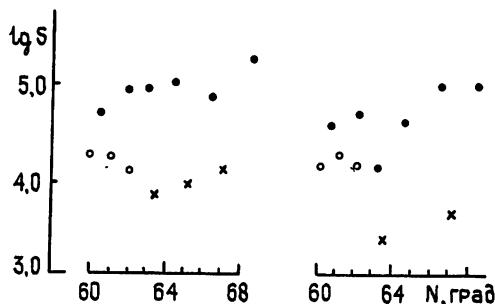


Рис. 5.

по спектрам для AE , AL и AU можно судить о квазипериодах вариаций геомагнитного поля, наблюдаемых на отдельных станциях.

На рис. 6 представлены результаты расчета спектральной плотности AE (кривая 1), AU (кривая 3) и AL (кривая 2) индексов и H -компоненты геомагнитного поля на станциях Тромсе (2) и Мурманск (1), находящихся в районе восточной электроструи, и на станциях Диксон (4) и Тикси

(3), находящихся в области западной электроструи. Результаты расчетов показывают, что квазипериоды вариаций H -компоненты геомагнитного поля и AE -, AU -, AL -индексов в общем одни и те же, и поэтому для определения квазипериодов вариаций источника ВГВ можно пользоваться опубликованными данными по AE -, AL - и AU -индексам. К анализу магнитограмм по отдельным станциям следует обращаться в том случае, когда нужно выяснить, насколько вариации найденных квазипериодов источника велики в рассматриваемом временном секторе по сравнению с соседними.

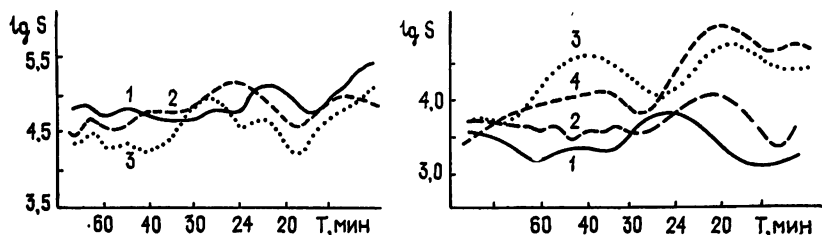


Рис. 6.

Реакция ионосферы на эту суббурю по данным ионосферных станций вертикального зондирования (ВЗ), расположенных на средних широтах в северном полушарии в дневном, вечернем и ночном секторах местного времени, подробно рассмотрена в [4, 5]. Во всех секторах местного времени изменения в ионосфере идентифицировались с ВГВ, распространяющимися вдоль геомагнитных меридианов от авроральных широт к экватору. Во всех долготных секторах волновое возмущение было весьма интенсивным. Однако, поскольку параметры ионосферы в различных долготных секторах значительно отличаются, провести количественное сопоставление характеристик электроструи с амплитудой ВГВ весьма затруднительно. В послеполуденном, вечернем и ночном секторах местного времени фронт ВГВ располагался вдоль широты. Скорость ВГВ, определенная в [4] по времени запаздывания их прихода на различные широты, составила (650 ± 120) м/с, а область их генерации вытянута вдоль аврорального овала и располага-

лась на геомагнитных широтах $\sim (66 \pm 3^\circ) N$ в послеполуночном и вечернем секторах и на $\Phi \sim (65 \pm 3^\circ) N$ в ночном секторе. Эти оценки совпадают с полученными выше из рассмотрения вариаций геомагнитного поля, характеризующих авроральные электроструи.

Зная частоту изменения тока в электроструях, можно оценить горизонтальную скорость распространения генерируемых ими ВГВ, используя линейную теорию [6]. Линейное приближение лучше всего применимо к ночным часам, когда не наблюдается резких изменений ионосферных параметров, поскольку отсутствуют такие факторы, как «включение» меридионального ветра и разогрев ионосферы. Групповые скорости распространения ВГВ, вычисленные по линейной теории, для вариаций с периодами 20—25 и 40—45 мин составляют 540 и 700 м/с соответственно, что согласуется с величинами скоростей, определенными по данным ВЗ. В ночном секторе по цепочке станций Магадан, Петропавловск-Камчатский, Иркутск, Хабаровск изменения f_oF2 выражены слабо и волна прослеживается по изменению высоты слоя $F2$. Наблюдались два разнесенных по времени подъема высоты слоя $F2$, первый довольно слабый и второй более значительный. Можно предположить, что эти две ВГВ генерируются колебаниями источника с различными частотами и, согласно приведенным выше оценкам, распространяются с несколько различными групповыми скоростями. Более слабая первая волна генерируется более слабым колебанием с $T=40 \div 45$ мин, а следующая — более мощным колебанием с $T=20 \div 25$ мин.

Таким образом, полученные по данным геомагнитных обсерваторий детальные характеристики авроральных электроструй в период интенсивной суббури позволили непосредственно идентифицировать их как источник, генерирующий ВГВ и, привлекая методы спектрального анализа, попытаться объяснить свойства ВГВ особенностями структуры электроструй.

ЛИТЕРАТУРА

1. Akasofu S.-I., Kamida J.—Planet. Space. Sci., 1976, 24, № 3, p. 223.
2. Гайворонская Т. В. Ионосферное прогнозирование.—М.: Наука, 1982, с. 103.
3. Kapide Y., Ahn B. H., Akasofu S. I. et al.—J. Geophys. Res., 1982, 87, p. 8228.
4. Демнинова Г. Ф., Юдович Л. А.—Геомагн. и аэрономия, 1980, 20, № 4, с. 742.
5. Roble R. G., Richmond A. D., Oliver W. L., Harper R. M.—J. Geophys. Res., 1978, 83, p. 999.
6. Jeh K. C., Liu C. H.—Rev. Geophys. Space Phys., 1974, 12, № 2, p. 193.

Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн АН СССР

Поступила в редакцию
30 апреля 1982 г.

VARIATIONS INTENSITY OF IGW SOURCE AND THE IONOSPHERIC RESPONSE IN THE PERIOD OF SUBSTORM ON 18.09.1974

T. V. Gaivoronskaya, G. F. Deminova, L. A. Yudovich

Localization of auroral electrojets has been defined and by the method of spectral analysis, variations of the geomagnetic field are singled out with quasi-periods of 20—25 and 40—45 min over the chain of stations in the auroral region during the substorm. The variation intensity distribution along the auroral oval permits one to identify the IGW source with all the West electrojet. The spectral analysis of geomagnetic and ionosphere data gives a possibility to connect variations of electrojets with properties of IGW generated by them.