

F-рассеяние как индикатор тропосферно-ионосферного взаимодействия

А. В. Зализовский, Ю. М. Ямпольский

*Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: yampol@rian.kharkov.ua*

Статья поступила в редакцию 21 июля 2006 г.

Исследуются тропосферно-ионосферные связи на примере эффекта ионосферного F-рассеяния. Рассматриваемые экспериментальные данные получены в 1993-2003 гг. на Украинской антарктической станции “Академик Вернадский” (до 6 февраля 1996 г. – Британская станция “Майкл Фарадей”). Найден параметр приземной погоды, наиболее статистически связанный с вероятностью наблюдения F-рассеяния, – это северо-восточная проекция скорости ветра. Так, в зимние месяцы условная вероятность наблюдения эффекта в 4 раза выше при положительной северо-восточной проекции скорости ветра, чем при отрицательной проекции. В сезонном ходе максимум влияния тропосферы на состояние верхней ионосферы отмечается зимой, в суточной вариации влияние тропосферы проявляется ночью и в сумеречные часы. Наблюдаемые экспериментальные факты интерпретированы в рамках теории распространения атмосферных гравитационных волн (АГВ) в атмосфере. Высказано предположение о том, что АГВ возбуждаются атмосферными фронтами, удачным индикатором которых в приземной тропосфере оказалась северо-восточная проекция скорости ветра, а суточные и сезонные вариации степени воздействия АГВ тропосферного происхождения на ионосферу связаны с изменениями условий их распространения в атмосфере.

Введение

Мониторинг и прогнозирование состояния околоземного космического пространства является одной из приоритетных научных проблем XXI века, которая решается в рамках международной концепции “Космическая погода”. При рассмотрении процессов в геокосмосе основное внимание как правило уделяется потоку энергии, приходящему непосредственно от Солнца. Однако существует и встречный, направленный от поверхности Земли, поток энергии, ролью которого обычно пренебрегают. Ранее авторами было пока-

зано, что такое пренебрежение не всегда оправдано, в частности, было описано влияние мощных тропосферных фронтов и возбуждаемых ими атмосферных гравитационных волн (АГВ) на вариации магнитного поля Земли [1].

Настоящая работа продолжает тему тропосферно-ионосферного взаимодействия и посвящена определению роли погодных возмущений у поверхности Земли в формировании мелкомасштабных неоднородностей в верхней ионосфере. Как известно, повышенная турбулиизация плазмы на высотах главного максимума иони-

зиции в F-области проявляется в виде диффузного рассеяния сигнала на интенсивных плазменных неоднородностях при вертикальном зондировании. Такое явление имеет устоявшееся название “F-рассеяние” (spread F). Турбулизация ионосферы является важной составляющей космической погоды, поскольку неоднородности ионосферной плазмы оказывают существенное влияние на распространение радиоволн всех частотных диапазонов, функционирование спутниковых систем и динамику пространственно-временного распределения электронной концентрации. Ранее авторами было изучено влияние геомагнитных возмущений на вероятность появления F-рассеяния [3]. На основе многолетнего анализа данных ионосферного зондирования и синхронных регистраций магнитного поля в Антарктике на Украинской антарктической станции (УАС) “Академик Вернадский” было установлено, что с ростом магнитных возмущений вероятность появления F-рассеяния увеличивается, особенно в периоды весеннего и осеннего равноденствий. Однако было также отмечено, что в зимнее время (для южного полушария) эта связь ослабевает [2] и турбулизация F-области может стимулироваться процессами в тропосфере. Такой вывод носил предварительный характер и нуждался в дополнительном исследовании. Цель настоящей работы состоит в оценке влияния тропосферных возмущений на динамику верхней ионосферы на примере возникновения эффекта F-рассеяния.

Удобным местом для исследования влияния тропосферных возмущений на состояние космической погоды является Тихоокеанское побережье Антарктического полуострова. Как было ранее установлено авторами, высокая циклоническая активность в этом регионе возбуждает крупномасштабные АГВ, способные распространяться на ионосферные высоты, что в свою очередь приводят к возмуще-

ниям электродинамических характеристик геокосмоса [4]. Кроме того, горный массив Западного побережья Антарктического полуострова представляет собой протяженную поперечную неоднородность на пути следования мощных атмосферных погодных фронтов и может играть роль орографического источника АГВ. Несмотря на приполярное географическое расположение, полуостров находится в средних геомагнитных широтах. Поэтому в регионе наблюдается относительно спокойный фон вариаций магнитного поля и ионосферных параметров, что облегчает регистрацию эффектов, связанных с распространением волновых процессов тропосферного происхождения на высоты верхней атмосферы.

Вблизи Западного побережья Антарктического полуострова расположена УАС “Академик Вернадский” (географические координаты: 65.25° ю. ш., 64.27° з. д., а геомагнитные: 50.1° ю. ш. 9.3° в. д.). На станции в течение многих десятилетий проводятся систематические непрерывные измерения метеорологических и ионосферных параметров, а также вариаций магнитного поля [4]. Изменения метеорологических параметров характеризуют состояние атмосферы, а их квазипериодические вариации позволяют идентифицировать процесс возбуждения и распространения АГВ в приповерхностном слое.

Экспериментальные данные

Основной массив экспериментальных данных, использованных для дальнейшего анализа, был получен на УАС в 1993-2003 гг. Рассматривались результаты метеорологических наблюдений, проведенных автоматической метеостанцией MAWS, и синхронные с ними характеристики вертикального зондирования ионосферы, полученные с помощью модернизированного ионозонда ISP-42 [5]. Для оценки воз-

мощности магнитного поля использовались локальные K -индексы магнитной активности, рассчитанные по данным обсерватории AIA (Argentine Islands Archipelago). В качестве характеристики возмущенности верхней ионосферы использовалась вероятность появления эффекта F-рассеяния, которая рассчитывалась по методике описанной в [3]. Как было ранее установлено, вероятность появления F-рассеяния имеет характерные суточную и сезонную зависимости. Характер сезонных вариаций частоты наблюдения эффекта в годы с высокой и низкой солнечной активностью существенно отличаются (рис. 1, а и 1, б, верхние панели). Так, в 2001 г. (высокая активность) максимумы отмечались в апреле и октябре. В год минимума солнечной активности (1996 г.) возрастание вероятности наблюдения F-рассеяния приходится на зимние месяцы. На нижних панелях рис. 1, а и 1, б приведены синхронные изменения среднемесячных K -индексов геомагнитной возмущенности. Как видно из их сопоставления, в год активного Солнца обе зависимости хорошо коррелируют (рис. 1, а). В год с низкой солнечной активностью характер сезонной вариации K -индексов остался таким же, максимумы приходятся на весну и осень. В то же время корреляция K -индексов с вероятностью наблюдения F-рассеяния исчезает (рис. 1, б). Максимум вероятности F-рассеяния приходится на южную зиму, когда в K -индексах наблюдается явный минимум. Очевидно, что для зимнего эффекта F-рассеяния нужно искать другие контролирующие факторы, которыми могут являться мощные процессы энерговыделения в приземной атмосфере. Следует отметить, что в это время года в регионе Антарктического полуострова наблюдается максимальная циклоническая активность, стимулирующая возмущения на ионосферных высотах.

Поиск экспериментальных свидетельств воздействия приземной погоды на F-рас-

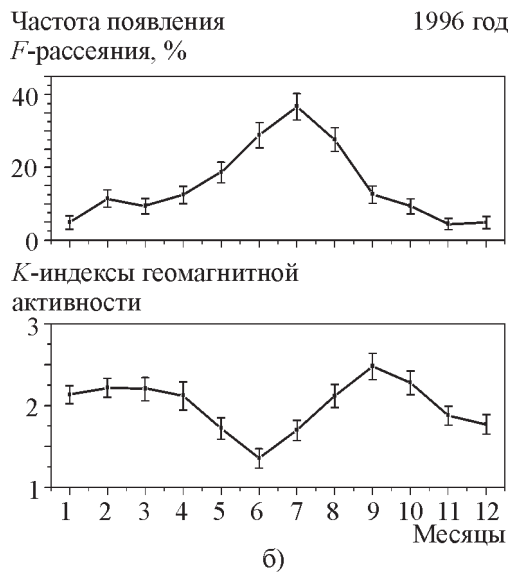
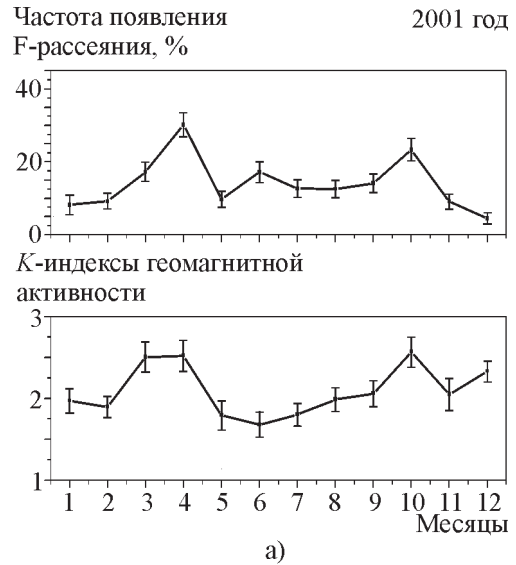


Рис. 1. Сезонные вариации вероятности наблюдения F-рассеяния (верхние панели) и среднемесячных значений локальных K -индексов (нижние панели): а) в год с высокой солнечной активностью, б) в год с низкой солнечной активностью

сеяние велся путем оценки условных вероятностей наблюдения эффекта для разных погодных условий. Обработка данных проводилась следующим образом. Значения параметра, характеризующего состояние погоды, разбивались на N интервалов. Частота регистрации F-рассеяния (отноше-

ние времени существования этого эффекта на ионограммах к общему времени наблюдений) оценивалась в зависимости от каждого из N возможных значений анализируемого метеопараметра.

В качестве “сигнальных” погодных характеристик рассматривались следующие: приземное давление, его временная производная, температура воздуха, скорость и направление ветра, различные проекции вектора скорости ветра. В результате предварительного анализа был найден параметр, для которого связь с F-рассеянием оказалась наиболее существенной. Этим параметром оказалась северо-восточная проекция скорости ветра (направление – откуда дует ветер). Отметим, что это направление является наиболее вероятным и в местной розе ветров (соответствующий азимут равен 26°).

После идентификации “сигнального” метеопараметра была проанализирована зависимость оценки условных вероятностей наблюдения F-рассеяния при разных значениях величины северо-восточной проекции скорости ветра от различных

временных масштабов усреднения. Наиболее показательным является недельный масштаб усреднения (качественно такое характерное время соответствует типичному интервалу между прохождением над Антарктическим полуостровом мощных погодных фронтов [4]). При усреднении за 7 дней (рис. 2) антарктической зимой наблюдается “резкое” (в 4 раза) увеличение вероятности наблюдения F-рассеяния при северо-восточном ветре. В то же время в другие сезоны года эта связь исчезает, о чем свидетельствует зависимость для сентября – мая (рис. 2). Оцененные без усреднения (временной шаг равен одному часу) условные вероятности регистрации F-рассеяния также возрастают при северо-восточном ветре в зимнее время (рис. 3, граничные значения скорости ветра составляют ± 13 узлов, 1 узел = 0.514 м/с), хотя несколько меньше, чем при усреднении. В остальные сезоны года эффект ослабевает (рис. 3).

Для исследования суточной зависимости вероятности появления F-рассеяния использовались также неусредненные метеорологические данные с темпом считы-

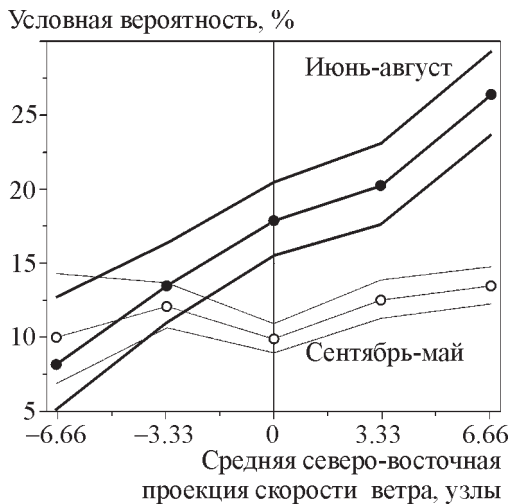


Рис. 2. Условные вероятности наблюдения F-рассеяния при разных значениях усредненной северо-восточной проекции скорости ветра, 1993-2003 гг., время усреднения – 7 суток

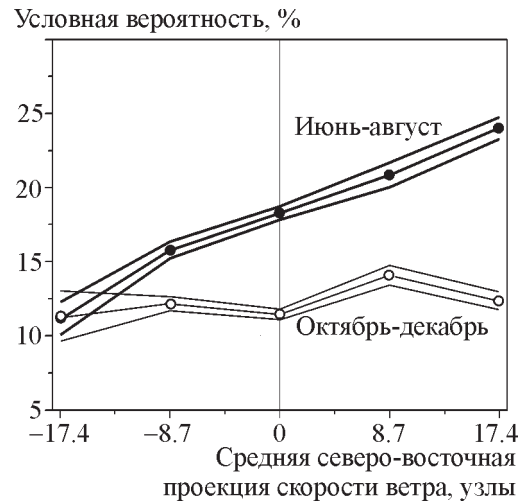


Рис. 3. Условные вероятности наблюдения F-рассеяния при разных значениях северо-восточной проекции скорости ветра, 1993-2003 гг., временной шаг – 1 ч

вания один час (рис. 4). В результате анализа удалось установить следующую закономерность – в июле F-рассеяние сильнее всего “чувствует” приземный ветер ночью и утром (6 и 8 часов местного времени), далее связь между эффектами ослабевает (10 и 12 часов местного времени).

Суточные изменения условных вероятностей наблюдения эффекта для антарктического лета и зимы соответственно представлены на рис. 5 (рис. 5, а – для июля, рис. 5, б – для декабря). На верхних панелях рисунков изображены вероятности на-

блюдения эффекта при северо-восточном ветре со скоростью более 5 узлов, на средних панелях – при юго-западном ветре со скоростью более 5 узлов. На нижних панелях приведены разности вероятностей наблюдения F-рассеяния при северо-восточном и юго-западном ветрах (приведены также среднеквадратические отклонения разностей вероятностей). Общая особенность суточной зависимости для всех сезонов года состоит в возрастании вероятности наблюдения F-рассеяния в ночные часы. Условная вероятность появления

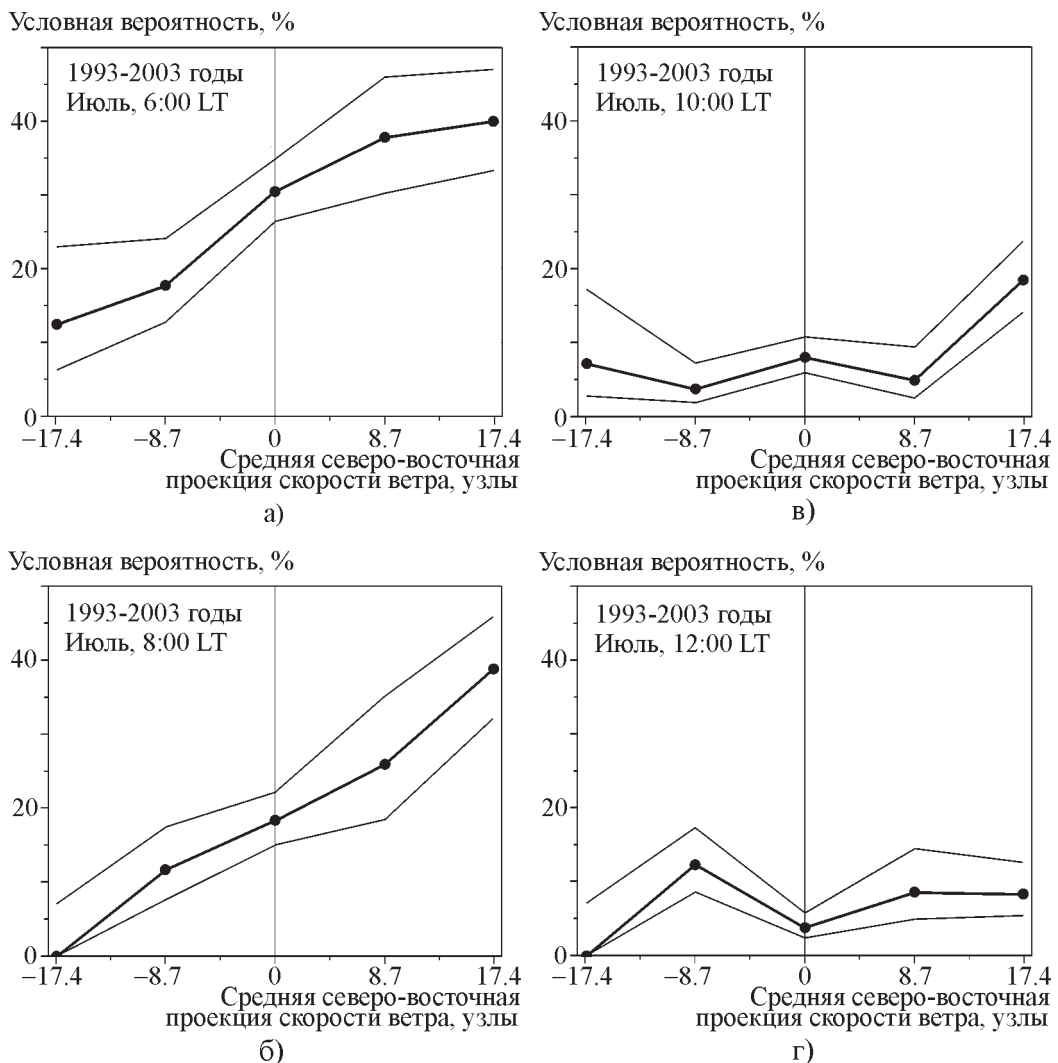


Рис. 4. Условные вероятности наблюдения F-рассеяния при разных значениях северо-восточной проекции скорости ветра в июле: а) в 6 часов LT, б) в 8 часов LT, в) в 10 часов LT, г) в 12 часов LT

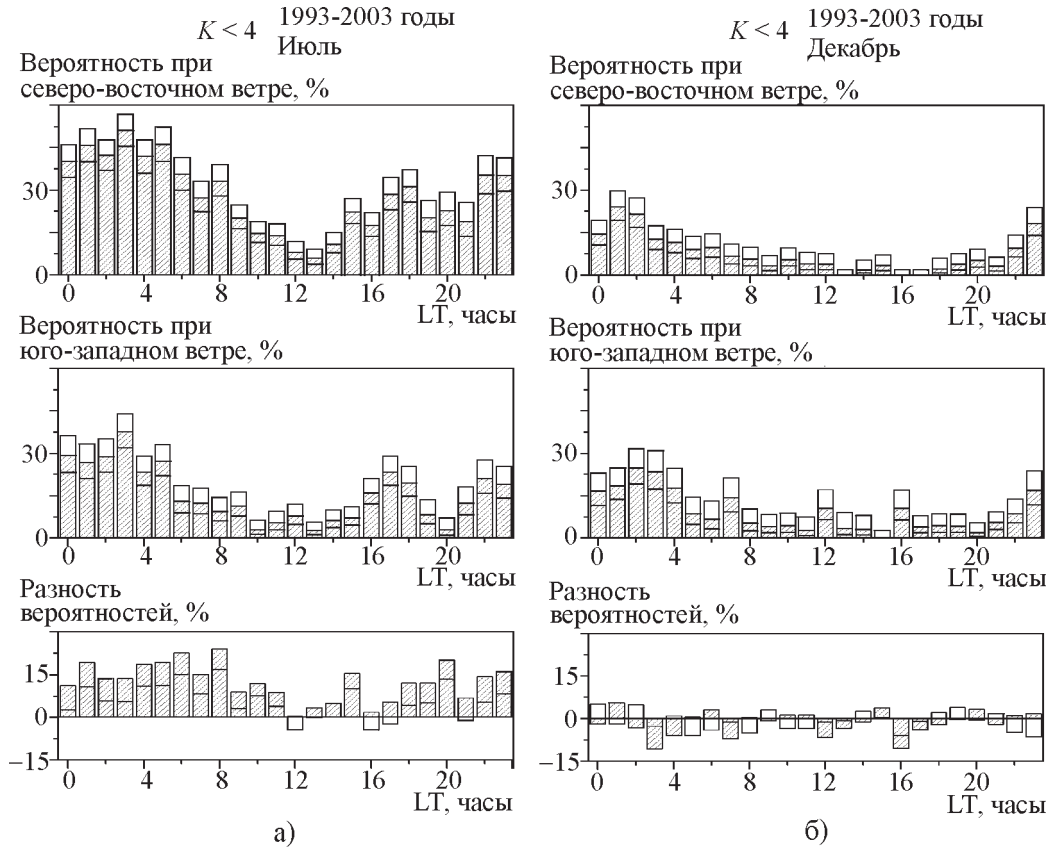


Рис. 5. Суточные вариации вероятности наблюдения F-рассеяния при северо-восточном ветре (верхние панели), юго-западном ветре (средние панели) и разности вероятностей при северо-восточном и юго-западном ветрах (нижние панели): а) в июле, б) в декабре

F-рассеяния в июле (антарктическая зима) при северо-восточном переносе выше в течение практически всего времени суток, причем в ночные часы это превышение существенно и достоверно (рис. 5, а). В то же время в декабре (антарктическое лето) с точностью до среднеквадратических отклонений F-рассеяние не “реагирует” на ветер у поверхности Земли (рис. 5, б).

На рис. 6 приведена разность вероятностей регистрации F-рассеяния при северо-восточном и юго-западном ветрах для мая – июня. Обращает на себя внимание тот факт, что наибольшая “чувствительность” ионосферы к приземной погоде отмечается утром и вечером. Вертикальными линиями на рисунке выделены времена

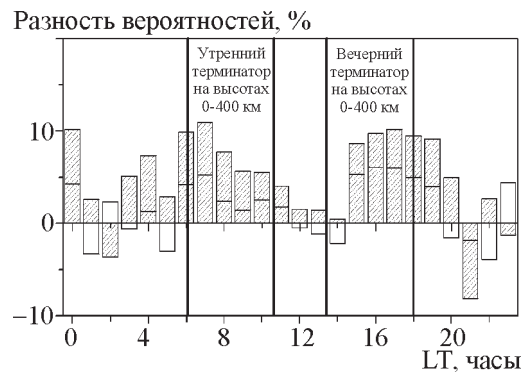


Рис. 6. Суточный ход разности вероятностей регистрации F-рассеяния при северо-восточном и юго-западном ветрах в мае – июне

расположения солнечного терминатора между поверхностью Земли и ионосферой.

Обобщая наблюдательные факты, можно отметить, что вероятность появления F-рассеяния существенно зависит от метеоусловий преимущественно в зимнее время. Для региона Антарктического полуострова наиболее сильно влияющим на F-рассеяние параметром погоды оказалась северо-восточная проекция скорости ветра. В зимние месяцы при положительной северо-восточной проекции вероятность наблюдения F-рассеяния заметно возрастает. Влияние тропосферных возмущений на F-рассеяние проявляется ночью и максимально в сумеречное время.

Обсуждение и интерпретация экспериментальных результатов

Рассмотрим возможный механизм влияния тропосферы на состояние верхней ионосферы и попытаемся дать качественное объяснение наблюдаемым в эксперименте фактам.

Мощные атмосферные фронты в тропосфере генерируют АГВ, причем, по всей видимости, возбуждается широкий пространственно-временной спектр волн, который “фильтруется” по мере распространения волн в атмосфере [6]. При распространении вверх амплитуда АГВ экспоненциально нарастает до тех пор, пока вязкостью атмосферного газа можно пренебречь [7]. На высотах верхней ионосферы (выше 150 км) прохождение АГВ сопровождается вариациями плотности плазмы, которые называются перемещающимися ионосферными возмущениями (ПИВ). При нарастании амплитуды АГВ выше порога нелинейного “насыщения” происходит “обрушивание” волнового фронта, сопровождаемое генерацией широкого пространственного спектра неоднородностей. Разрушающиеся крупномасштабные АГВ порождают неоднородности меньших

масштабов, усиливая те из них, для которых выполняются условия пространственно-временного синхронизма с дрейфующей плазмой [2]. Это в свою очередь может приводить к резкому росту флуктуаций концентрации ионосферных неоднородностей и, как следствие, вызывать эффект F-рассеяния.

Как отмечалось выше, северо-восточный ветер в окрестности Антарктического полуострова сопутствует передним частям циклонов, где как правило располагаются атмосферные фронты. (Благодаря направляющему воздействию горной системы полуострова ветер дует в довольно узком секторе углов.) Таким образом, северо-восточная проекция скорости ветра в окрестности УАС является удачным индикатором атмосферных фронтов

Атмосферный фронт – это поверхность раздела теплой и холодной воздушных масс, наклоненная под очень пологим углом к горизонту (для типичного теплого фронта высота поверхности раздела воздушных масс над поверхностью земли изменяется от 0 до 8 км на характерном горизонтальном масштабе 500÷1000 км). Генерация АГВ может происходить на границе тропопаузы за счет конвективной атмосферной неустойчивости. Возбуждение АГВ на высотах тропопаузы, вероятнее всего, происходит в области температурной инверсии, которая ограничивает область конвективной неустойчивости атмосферного фронта.

Рассмотрим возможные объяснения сезонных и суточных изменений чувствительности ионосферы (F-рассеяния) к тропосферным процессам над Антарктическим полуостровом. Возбуждение АГВ напрямую связано прежде всего с активностью атмосферных источников. Как показал многолетний анализ циклонической активности на УАС, ее пик наблюдается в зимние месяцы [4]. Другим важным фактором являются благоприятные условия распространения АГВ снизу вверх на высоты F-области ионосферы.

Обсудим этот вопрос более подробно, следуя теоретическим выводам [7, 8] для линейного приближения процесса распространения АГВ с высотой. Дисперсионное соотношение для АГВ в этом случае описывается следующим выражением [8]:

$$k_z^2 = \left(\frac{\omega_g^2}{\omega^2} - 1 \right) k_x^2 - \frac{1}{4H^2} + \frac{\omega^2}{u_s^2}$$

где ω_g – частота Бранта–Вяйсяля, ω – частота АГВ, H – приведенная высота однородной атмосферы, u_s – скорость звука. Основным параметром среды, влияющим на распространение АГВ, является частота Бранта–Вяйсяля ω_g . В случае, если $\omega_g < \omega$, k_z переходит в мнимую область, что физически означает невозможность распространения АГВ в такой среде. Рассмотрим выражение, связывающее частоту Бранта–Вяйсяля с параметрами среды [8]:

$$\omega_g^2 = g\alpha \frac{dT}{dz} + C_p^{-1} g^2 \alpha^2 T - g\beta \frac{ds}{dz}. \quad (1)$$

Здесь C_p – удельная теплоемкость газа при постоянном давлении, β – соленость (в случае жидкой среды распространения – океана), s – энтропия, g – ускорение свободного падения, T – температура. Для идеальной атмосферы $\alpha = T^{-1}$. Для сухой идеальной атмосферы (1) можно упростить до следующего вида:

$$\omega_g^2 = \frac{g}{T} \left(\frac{dT}{dz} + \frac{g}{C_p} \right).$$

Отношение g/C_p – это адиабатический вертикальный градиент температуры. Если градиент dT/dz на какой-то высоте, во-первых, будет отрицательным и, во-вторых, превысит по модулю адиабатический вер-

тикальный градиент, это будет означать невозможность распространения АГВ всех масштабов в слое и, соответственно, полное экранирование АГВ, распространяющихся вверх от поверхности Земли. Очевидно, что если в какой-либо области атмосферы температура с высотой монотонно растет, то частота Бранта–Вяйсяля всегда вещественна и достаточно велика, атмосфера устойчива и АГВ в такой среде будут успешно распространяться. Затруднения в распространении АГВ могут возникать в слоях с отрицательным температурным градиентом. По пути из тропосферы вверх в ионосферу такой слой один – это мезосфера. Чем быстрее температура в мезосфере падает с высотой, тем все более ограничивается пространственно-временной спектр волн, способных распространиться через нее. В случае, если отрицательный градиент температуры превысит по модулю вертикальный адиабатический градиент, среда перейдет в конвективно неустойчивое состояние и распространение АГВ станет невозможным.

Вертикальный градиент температуры в мезосфере связан в первую очередь с прогревом стратосферы, который вызван поглощением ультрафиолета в озоносфере. Поскольку нагрев озоносферы определяется зенитным углом Солнца, в летний сезон прогрев максимален. Поэтому наблюдается минимальная устойчивость мезосферы и худшие условия для распространения АГВ. Зимой условия распространения значительно благоприятнее, чем летом, в силу уменьшения прогрева озоносферы. Аналогичные рассуждения можно использовать и для объяснения суточных особенностей. По той же причине условия распространения АГВ ночью лучше, чем днем. Такой качественный анализ поясняет практически все экспериментально установленные особенности возникновения F-рассеяния за счет возбуждения волновых процессов в приповерхностной атмосфере и их распро-

странения на высоты верхней ионосферы. Естественно, такие рассуждения весьма упрощены и должны быть подтверждены модельными расчетами. В частности, утверждение о трансформации энергии АГВ на ионосферных высотах в мелкомасштабную плазменную турбулентность хотя и весьма распространено в современной физике верхней атмосферы, однако носит скорее констатирующий гипотетический, нежели доказательный характер.

Выводы

В работе на примере эффекта F-рассеяния рассмотрено влияние тропосферной погоды на состояние верхней ионосферы. Для УАС “Академик Вернадский” на большом массиве наблюдательных данных статистически определен параметр приземной погоды, наиболее сильно влияющий на возникновение F-рассеяния – это северо-восточная проекция скорости приповерхностного ветра. Показано, что влияние процессов в тропосфере на ионосферную турбулентность проявляется сильнее всего в зимние месяцы. В суточном ходе “чувствительность” верхней ионосферы к приземной погоде увеличивается ночью и максимальна в сумеречное время.

Наблюдаемым в эксперименте тропосферно-ионосферным связям дана упрощенная качественная интерпретация в рамках теории распространения внутренних АГВ в атмосфере. Выдвинута гипотеза о том, что волны генерируются атмосферными фронтами, а суточные и сезонные вариации степени влияния тропосферной погоды на состояние ионосферы связаны с изменчивостью условий распространения АГВ в атмосфере, и в первую очередь в мезосфере.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Национальный антарктический научный центр за содействие в проведении измерений в Антарктике, зимовщи-

ков станции “ Майкл Фарадей” – “Академик Вернадский”, благодаря которым был собран экспериментальный материал, и сотрудников Отдела радиопизики геокосмоса Радиоастрономического института НАН Украины за полезное обсуждение результатов. Работа выполнена при частичной поддержке НИР “Резонансы” НАНЦ МОН Украины по договору № Н/5-2004, а также ведомственной НИР “Циклон-2005”, выполняемой по целевой Программе НАН Украины № 486-05, и персональному гранту для молодых ученых НАН Украины № 61-05. Авторы также признательны рецензенту работы Г. В. Лизунову за ряд конструктивных замечаний, улучшивших изложение основных результатов.

Литература

1. Ю. М. Ямпольский, А. В. Зализовский, Л. Н. Литвиненко, Г. В. Лизунов, К. Гровс, М. Молдвин. Вариации магнитного поля в Антарктике и сопряженном регионе (Новая Англия), стимулированные циклонической активностью // Радиопизика и радиоастрономия. – 2004. – Т. 9, №2. – С. 130-151.
2. Б. Н. Гершман, Э. С. Казимировский, В. Д. Кокоуров, Н. А. Чернобровкина. Явление F-рассеяния в ионосфере. – М.: Наука, 1984. – 143 с.
3. П. В. Силин, А. В. Зализовский, Ю. М. Ямпольский. Эффекты ионосферного F-рассеяния на антарктической станции “Академик Вернадский” // Радиопизика и радиоастрономия. – 2004. – Т. 10, №1. – С. 30-37.
4. Л. Н. Литвиненко, Ю. М. Ямпольский. Электромагнитные проявления геофизических эффектов в Антарктиде. – Харьков: Изд-во РИ НАНУ – УАЦ МОНУ, 2005. – 342 с.
5. Г. П. Милиневский. Научные исследования на украинской антарктической станции Академик Вернадский // Радиопизика и радиоастрономия. – 1997. – Т. 2, №3. – С. 255-266.
6. Booker Н. G. The role of acoustic gravity waves in the generation of spread-F echoes and ionospheric scintillation // J. Atmos. Terr. Phys. – 1979. – Vol. 41, No. 5. – P. 501-515.
7. Б. Е. Брюнелли, А. А. Намгаладзе. Физика ионосферы. – М.: Наука, 1988. – 528 с.
8. А. Гиль. Динамика атмосферы и океана. В 2-х томах. Т. 1. – М.: Мир, 1986. – 397 с.

F-розсіяння як індикатор тропосферно-іоносферної взаємодії

**А. В. Зализовський,
Ю. М. Ямпольський**

Досліджено тропосферно-іоносферну взаємодію на прикладі ефекту іоносферного F-розсіяння. Наведені експериментальні дані отримані у 1993-2003 рр. на Українській антарктичній станції “Академік Вернадський” (до 6 лютого 1996 р. – Британська станція “Майкл Фарадей”). Знайдено параметр приземної погоди, найкраще статистично пов’язаний з вірогідністю спостереження F-розсіяння, – це північно-східна проекція швидкості вітру. Так зимовими місяцями умовна вірогідність спостереження ефекту у 4 рази вища для позитивної північно-східної проекції швидкості вітру, ніж для негативної проекції. У сезонному ході максимум впливу тропосфери на стан верхньої іоносфери проявляється узимку, у добовій варіації вплив тропосфери проявляється вночі та у присмерки. Спостережені експериментальні факти інтерпретовані в рамках теорії поширення атмосферних гравітаційних хвиль (АГХ) в атмосфері. Висловлено припущення про те, що АГХ збуджуються атмосферними фронтами, вдалим індикатором яких у приземній тропосфері виявилась північно-східна проекція швидкості вітру, а добові та сезонні варіації міри впливу АГХ тропосферного походження на іоносферу пов’язані зі зміною умов їх поширення в атмосфері.

The Spread-F Effect as an Indicator of Troposphere – Ionosphere Coupling

A. V. Zalizovski and Yu. M. Yampolski

The spread F effect is analyzed as a manifestation of troposphere – ionosphere coupling. The observational data discussed were obtained in 1993 through 2003 at the Ukrainian Antarctic Station Akademik Vernadsky (known as Michael Faraday of UK until 6 February, 1996). Among the parameters of atmospheric ‘surface’ weather one has been identified as possessing the strongest statistical connection with the observation probability of spread F. This parameter at Vernadsky is the North – Eastern projection of tropospheric wind speed. Indeed, the conditional probability of detecting spread F in winter was higher by a factor of four with the North – Eastern speed projection of positive rather than negative sign. In the seasonal run, the highest impact of the troposphere upon the upper ionosphere condition was in winter. As for diurnal variations, the tropospheric effect is highest at night and during twilight hours. These observational findings have been interpreted within the hypothesis of atmospheric gravity waves (AGW) propagating through the atmosphere. It has been suggested that AGWs are excited by atmospheric fronts, whose convenient local indicator in the near-Earth troposphere is the North – Eastern wind speed projection. The observed diurnal and seasonal variations in the amount of effect of tropospheric AGW upon the ionosphere might be due to varying conditions of AGW propagation through the atmosphere.