

А. В. Швець, Ю. В. Горишня

ЛОКАЦІЯ МОЛНІЙ І ОЦЕНКА ВИСОТЫ НИЖНЬОЇ ІОНОСФЕРИ  
С ІСПОЛЬЗОВАННЯМ ДИСПЕРСИОННИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВИК-АТМОСФЕРИКОВ

Інститут радіофізики і електроніки ім. А. Я. Усикова НАН України  
12, ул. Ак. Проскури, Харків, 61085, Україна  
E-mail: [alexander\\_shvets@ukr.net](mailto:alexander_shvets@ukr.net)

Предложен новый метод определения дистанции до молнии и эффективной высоты нижней границы ионосферы на основе явления частотной дисперсии сигналов твик-атмосфериков (твиков), распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера в ночное время. Приведены примеры определения с помощью предложенного метода дальности до молнии (в диапазоне 500...2500 км) и эффективной высоты нижней ионосферы вдоль трассы распространения твика по экспериментальным записям. Получены оценки точности определения высот и дальностей при использовании описанного алгоритма. Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 20 назв.

**Ключевые слова:** локация молний, волновод Земля-ионосфера, мониторинг нижней ионосферы.

Максимум спектральной плотности излучения от разряда молнии приходится на диапазоны сверхнизких частот (СНЧ) 3...3 000 Гц и очень низких частот (ОНЧ) 3...30 кГц. Электромагнитный импульс, излученный молнией, распространяется на тысячи километров внутри полости Земля-ионосфера. Верхней границей волновода для СНЧ-ОНЧ-радиоволн служит область нижней ионосферы на высотах 60...90 км с низкой концентрацией заряженных частиц ( $10^6...10^9 \text{ м}^{-3}$ ). Данная область ионосферы является важным элементом в цепочке воздействия явлений космической погоды на окружающую среду, однако непрерывный мониторинг ее состояния вызывает определенные трудности при использовании станций ионосферного зондирования и других средств. В связи с этим получили распространение методы исследования с помощью радиопросвечивания волновода Земля-ионосфера радиоволнами ОНЧ-радиостанций, а также с использованием импульсных излучений, возбуждаемых разрядами молний.

В ночное время, вследствие повышения нижней границы ионосферы и соответствующего уменьшения потерь в ней, наблюдаются сигналы твик-атмосфериков (далее – твиков), в формировании которых существенную роль играют волны, падающие на ионосферу под крутыми углами [1] и формирующие «хвостовую» часть сигналов твиков длительностью 10...150 мс.

Интерес к исследованиям твиков обусловлен возможностью их использования для диагностики свойств нижней ионосферы [1–16] и однопозиционных методов локации молний [17–20].

Пример экспериментальной записи горизонтальных магнитных компонент (поперечной  $H_\varphi$  и продольной  $H_\rho$  по отношению к направлению распространения) и вертикальной электрической компоненты  $E_z$  поля твика приведен на рис. 1. Можно видеть, что головная часть твика ( $\tau < 0,5$  мс) линейно поляризована, поскольку представлена толь-

ко в поперечной магнитной компоненте, что используется для определения азимута источника [17].

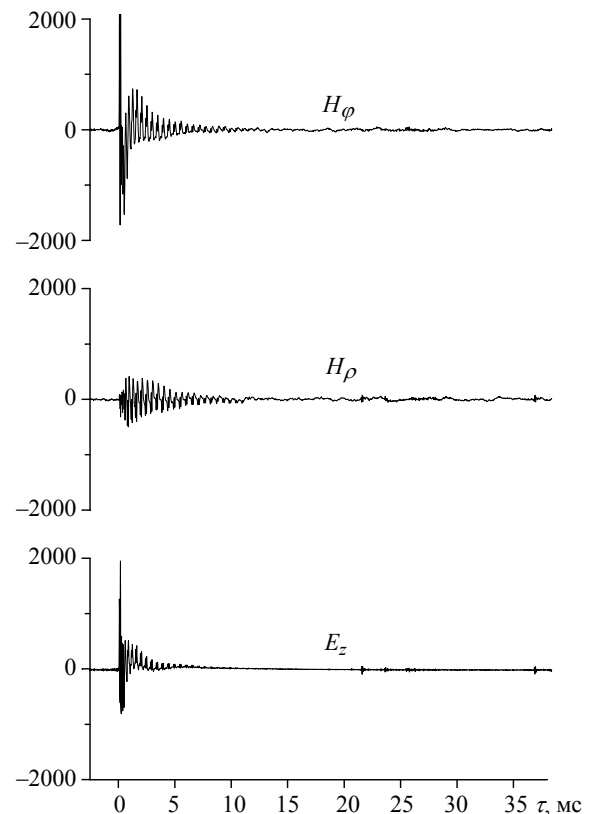


Рис. 1. Волновые формы компонент поля твика. Запись сделана в точке с координатами 5,5° в. д., 16,7° ю. ш., 21.01.1991 г. в 19:46:34 универсального времени

«Хвостовая» часть сигнала представлена в обеих магнитных компонентах поля и обладает эллиптической, близкой к круговой, левой поляризацией [9, 11, 14–16]. На основании этого свойства, обусловленного анизотропией нижней ионосферы, были получены оценки электронной концентрации в окрестности высоты отра-

жения ОНЧ-радиоволн по результатам анализа твиков [15]. В работе [12] твики интерпретировались как резонансные колебания в поперечном сечении плоского бесконечного резонатора Земля-ионосфера, а также были получены оценки проводимости нижней ионосферы.

В динамическом спектре твика в координатах время-частота (рис. 2) можно наблюдать несколько дисперсионных ветвей, представляющих первую и высшие моды. Частоты этих ветвей убывают по частоте со временем и приближаются асимптотически к критическим частотам волновода Земля-ионосфера в соответствии со следующей дисперсионной зависимостью [7, 11]:

$$f_p(\tau) = \frac{f_{cp}}{\sqrt{1 - \left(1 + \frac{c\tau}{D}\right)^{-2}}}, \quad (1)$$

где время  $\tau$  отсчитывается от момента прихода атмосферы в точку наблюдения;  $f_{cp} = cp/2h$  – критическая частота  $p$ -й моды ( $p = 1, 2, 3, \dots$ );  $c$  – скорость света в вакууме;  $D$  – дистанция до источника;  $h$  – высота нижней границы ионосферы над поверхностью Земли.

Выражение (1) является основой методов определения дистанции до источника и высоты волновода по сонограмме (или динамическому спектру) твика [1, 7, 8]. Требования получения одновременно высокого разрешения по частоте и по времени ограничивают точность данных методов. В работах [17, 18] предложен метод определения дистанции до источника и высоты волновода («харьковский» метод [19]) по фазовому спектру продольной магнитной компоненты поля для первой моды, который получен по результатам трехкомпонентных измерений твиков. Это позволило получить ошибку определения дистанции до источника приблизительно 5% [19]. Метод определения высоты и дальности, основанный на свойствах интерференции нулевой и первой мод в амплитудном спектре твика, приведен в работе [20], где показана возможность мониторинга изменений высоты нижней ионосферы в течение ночи и в зависимости от сезона.

По спектру хвостовой части твика можно оценить частоты отсечки, однако точность таких оценок ограничена вследствие затухания сигнала в непосредственной близости от этих частот. Поэтому для получения более точных оценок необходим учет частотной дисперсии сигнала, которая определяется расстоянием до источника и высотой волновода.

В настоящей работе предложен алгоритм построения дисперсионных зависимостей по динамическим спектрам твик-атмосфериков и определения эффективной высоты ионосферы и дальности до молнии. Предложенный алгоритм по-

зволяет повысить эффективность сонограммного метода, оценить погрешности определения дальности и высоты, он также может быть использован для построения автоматизированной системы мониторинга нижней ионосферы и однопозиционной локации молний.

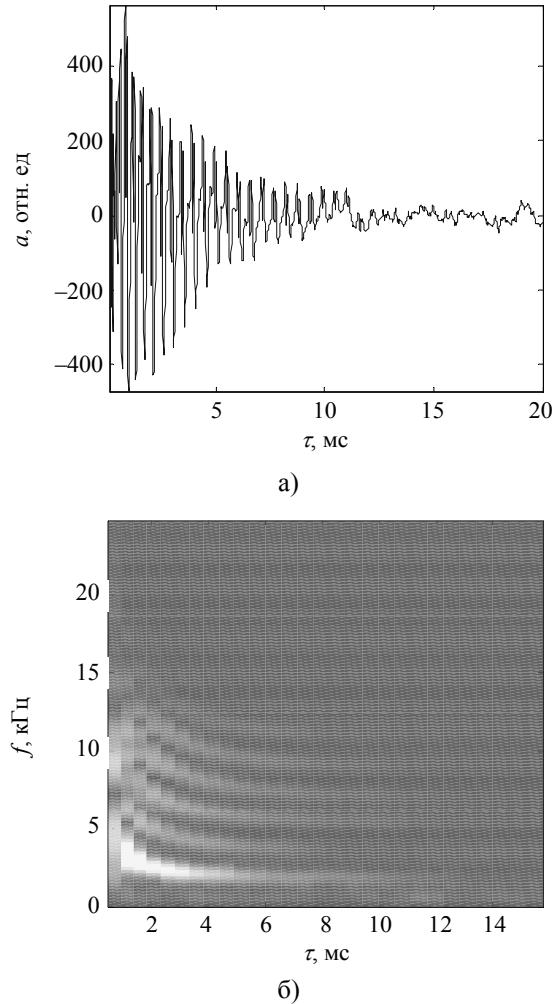


Рис. 2. Волновая форма (а) и динамический спектр (б) продольной магнитной компоненты  $H_p$  (запись, показанная на рис. 1)

**1. Метод линейной регрессии для определения высоты волновода и дистанции до источника.** Определение  $D$  и  $h$  обычно выполняется путем подгонки этих двух параметров для получения минимального среднеквадратического отклонения экспериментальных точек, соответствующих дисперсионной ветви на динамическом спектре твика, от теоретической зависимости (1) [8]. Для упрощения процесса подгонки представим (1) в двух вариантах:

$$D = \frac{c\tau}{\frac{1}{\sqrt{1 - f_{cp}^2 / f_p^2(\tau)}} - 1}, \quad (2)$$

$$f_{cp} = f_p(\tau) \sqrt{1 - \left(1 + \frac{c\tau}{D}\right)^{-2}}. \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) позволяют свести определение двух искомым параметров  $D$  и  $f_{cp}$  ( $h = cp/2f_{cp}$ ) к проблеме одномерной оптимизации.

Построим линейную регрессию для  $D$  из (2) по точкам экспериментальной дисперсионной зависимости  $f_p(\tau_k)$  и начальному значению  $f_{cp}$

$$D'(h, \tau) = A + B\tau. \quad (4)$$

Коэффициенты регрессии, определенные по методу наименьших квадратов, равны

$$B = \frac{\sum_{k=1}^N [D(h, \tau_k) - \bar{D}(h)](\tau_k - \bar{\tau})}{\sum_{k=1}^N (\tau_k - \bar{\tau})^2}, \quad (5)$$

$$A = \bar{D}(h) - B\bar{\tau},$$

где верхняя черта обозначает среднее значение. Минимизируя абсолютное значение коэффициента наклона линии регрессии  $|B|$  вариацией  $f_{cp}$ , получим оценки обоих параметров. Аналогичную процедуру можно выполнить на основе (3) минимизацией наклона линейной регрессии  $f'_{cp}(D, \tau)$ .

Далее опишем детально процедуру обработки экспериментальных записей. Вначале определялся азимут прихода твика с помощью вычисления вектора Умова-Пойнтинга в широкой полосе частот [17]. Временные формы магнитных компонент преобразовывались к системе координат, связанной с направлением на источник (см. рис. 1). Рассматривая в дальнейшем продольную компоненту поля, мы избавляемся от влияния мощной головной части и низкочастотной составляющей (нулевой моды), которые линейно поляризованы. Первая и высшие моды эллиптически поляризованы и вносят вклад как в поперечную, так и в продольную компоненты поля твика.

Для получения дисперсионных зависимостей в сигнале твика строились динамические спектры (сонограммы) компонент поля с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ). Для уменьшения влияния краевых эффектов на спектральные оценки перед выполнением БПФ текущая реализация умножалась на временное окно Хэмминга. Частоты максимумов уточнялись с помощью вычисления центра тяжести соответствующего пика по точке максимума и двум соседним отсчетам в амплитудном спектре

$$f_{\max} = \Delta f \frac{(k-1)W_{k-1} + kW_k + (k+1)W_{k+1}}{W_{k-1} + W_k + W_{k+1}}, \quad (6)$$

где  $k$  – номер отсчета, соответствующий максимуму в спектре сигнала,  $k = 0 \dots N-1$ ;  $N$  – длина БПФ;  $\Delta f$  – шаг по частоте в дискретном спектре;  $W_k = |H_k|^2$ .

Начальную оценку высоты, как упоминалось выше, можно получить по хвостовой части твика. Для этого рассчитывался спектр сигнала с обнуленной головной частью длительностью 2,56 мс. По первому пику, соответствующему первой моде, определялся отсчет в спектре, в котором амплитуда падает в два раза в сторону низких частот от максимума. Полученная частота принимается в качестве начальной оценки частоты отсечки первой моды. Оценки частот отсечки для высших мод принимались кратными частоте отсечки первой моды.

По начальной оценке критической частоты с помощью (2) рассчитывались значения дистанции для нескольких задержек в начале импульса (1, 2, 3, 4 мс). Среднее по полученным значениям бралось в качестве первоначальной оценки дистанции.

Выделение участков ветвей дисперсионных зависимостей выполнялось по следующим критериям:

- амплитуда спектральной составляющей превышает пороговое значение (эмпирически подобранное по анализу ансамбля данных);
- значение частоты максимума находится в «коридоре» шириной  $\pm 250$  Гц, который построен относительно дисперсионной кривой, полученной в начальном приближении.

Для улучшения разрешения по времени в начальной части твика, где наблюдается большая частотная дисперсия, текущие спектры рассчитывались по реализациям переменной длины. Длина реализации определялась таким образом, чтобы в нее попадало приблизительно одинаковое количество периодов текущей частоты (4 периода в нашем случае). Для этого использовалась зависимость (1), полученная по начальным оценкам высоты волновода и дальности до источника.

**2. Применение алгоритма к экспериментальным записям твиков.** Предложенная методика тестировалась с помощью экспериментальных записей, сделанных на борту научно-исследовательского судна «Академик Вернадский» [15]. В эксперименте сигналы трех компонент поля с выхода антенных усилителей фильтровались в полосе 0,3...13 кГц и затем синхронно оцифровывались 12-разрядными аналого-цифровыми преобразователями с частотой дискретизации 100 кГц. Волновые формы длительностью 40,96 мс накапливались на жестком диске компьютера.

Для демонстрации применения методики далее приведены примеры определения дальности и эффективной высоты ионосферы вдоль трассы распространения для трех дистанций в диапазоне от 500 км до 2,5 Мм по экспериментальным записям твиков.

Можно выделить два основных фактора, влияющих на точность оценок. Первый – случай-

ные шумы, связанные как с собственными шумами приемной аппаратуры, так и с атмосферными импульсными помехами от дальних молний, которые могут наложиться на анализируемую реализацию. Второй фактор – методические погрешности, которые связаны со смещением спектральных оценок мгновенной частоты сигнала, характеризующегося сильной частотной дисперсией в комбинации со значительными вариациями амплитуды в пределах анализируемых временных реализаций.

Очевидно, что первый фактор в основном влияет на точность оценки критической частоты волновода, поскольку становится доминирующим в хвостовой части сигнала твика, где частота приближается к частоте отсечки, а амплитуда падает. Второй фактор может играть существенную роль в оценке как высоты, так и дальности, в начальной части импульса, где велика частотная дисперсия сигнала, а ее зависимость от времени определяется обоими этими параметрами.

Как отмечалось выше, при описании методики, для определения значений текущих частот выбирается интервал, вмещающий фиксированное число осцилляций на первой моде. Поскольку количество осцилляций в сигнале для высших мод будет в кратное количество раз больше при той же относительной перестройке частоты, что и для первой моды, то можно ожидать более точных оценок искомых параметров при использовании высших мод в сигнале твика.

Пример определения дальности до источника и эффективной высоты ионосферы по восьми ветвям твика (см. рис. 1, 2) продемонстрирован на рис. 3. Крестиками обозначены оценки дальности, полученные по формуле (2) для каждого отсчета соответствующей дисперсионной кривой. Сплошные горизонтальные линии линейной регрессии соответствуют найденным значениям дальности после минимизации модуля угла наклона, путем подбора значения высоты.

В табл. 1 приведены средние значения эффективной высоты и дальности с соответствующими стандартными отклонениями, полученные по дисперсионным зависимостям для каждой ветви.

Графическое представление данных из табл. 1 показано на рис. 4. Необходимо отметить, что наблюдается корреляция между оценками дальности и высоты: большим значениям оценки дальности соответствуют большие значения оценок высоты, что следует из зависимостей (2), (3). Средние значения высоты и дальности и соответствующие им среднеквадратические отклонения, вычисленные по всем восьми модам ( $h = (87,99 \pm 0,81)$  км;  $D = (1,16 \pm 0,15)$  Мм), показаны горизонтальными линиями.

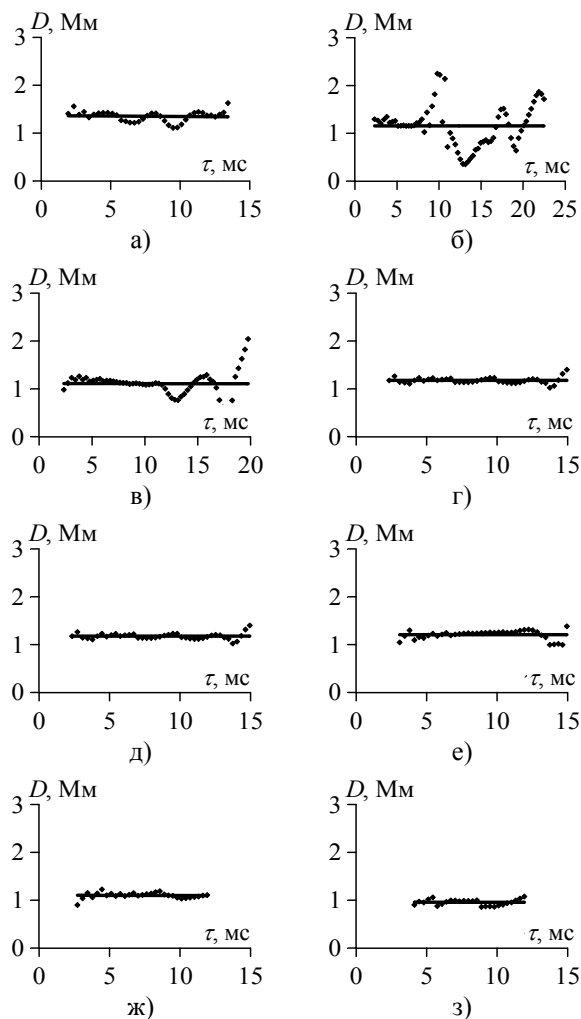


Рис. 3. Оценки высоты ионосферы и дистанции до источника по 1–8-й дисперсионным ветвям твика (а–з соответственно)

Таблица 1

№ ветви	$h$ , км	$D$ , Мм
1	$89,85 \pm 1,09$	$1,35 \pm 0,11$
2	$87,79 \pm 1,86$	$1,16 \pm 0,43$
3	$87,93 \pm 0,79$	$1,11 \pm 0,25$
4	$87,84 \pm 0,38$	$1,17 \pm 0,06$
5	$87,92 \pm 0,46$	$1,19 \pm 0,10$
6	$88,17 \pm 0,58$	$1,20 \pm 0,09$
7	$87,6 \pm 0,78$	$1,10 \pm 0,06$
8	$86,83 \pm 0,38$	$0,96 \pm 0,06$

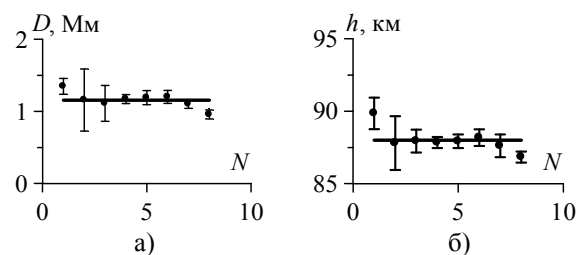


Рис. 4. Оценки значений дальности до источника (а) и эффективной высоты ионосферы (б). Показаны доверительные интервалы по уровню значимости 70 % ( $\pm\sigma$ ) и средние значения параметров по всем модам

Можно видеть, что значения средних находятся внутри интервалов среднеквадратичных отклонений для 2–7-й ветвей. Для 1-й и 8-й ветви наблюдаются существенные отклонения от средних в сторону больших и меньших значений соответственно.

Твики от источников с дистанций более 1,5 Мм имеют, как правило, не более двух-четырех ветвей в составе сигнала. На рис. 5 приведен пример оценки для твика с дальности около 2,5 Мм, для которого удалось выделить 6 мод. Запись произведена в точке с координатами 5,5° в. д., 16,7° ю. ш. 21 января 1991 г. в 20:30:47 универсального времени. Результаты оценок сведены в табл. 2.

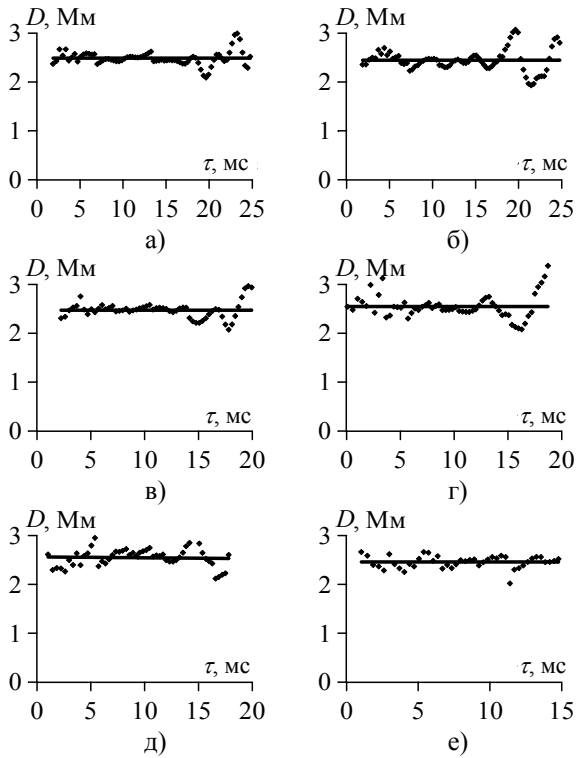


Рис. 5. Оценки дистанции до источника по 1–6-й дисперсионным ветвям твика (а-е соответственно)

№ ветви	$h$ , км	$D$ , Мм
1	$87,49 \pm 0,56$	$2,48 \pm 0,15$
2	$87,17 \pm 0,75$	$2,44 \pm 0,23$
3	$86,96 \pm 0,69$	$2,47 \pm 0,17$
4	$87,03 \pm 1,36$	$2,55 \pm 0,25$
5	$87,10 \pm 1,26$	$2,56 \pm 0,18$
6	$86,65 \pm 0,99$	$2,46 \pm 0,13$

Дистанция до источника, определенная таким способом, по всем ветвям равна  $D = (2,49 \pm 0,20)$  Мм. Среднее значение высоты по шести ветвям составляет  $h = (87,21 \pm 0,94)$  км.

Рис. 6 демонстрирует средние и табличные значения параметров, определенные по 1–6-й мо-

дам. Видно, что средние значения оценок  $h$  и  $D$  находятся в пределах доверительного интервала по уровню  $\pm\sigma$  для всех мод.

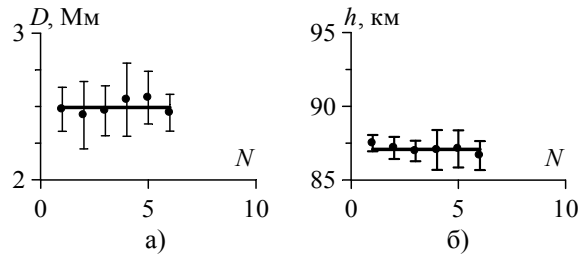


Рис. 6. Оценки значений дальности до источника (а) и эффективной высоты ионосферы (б). Показаны доверительные интервалы по уровню значимости 70 % ( $\pm\sigma$ ) и средние значения параметров по всем модам

В твиках с близких дистанций (менее 1,5 Мм) может наблюдаться различное число ветвей, вплоть до 8–9. Пример оценки для записи твика, пришедшего с близкой дистанции, показан на рис. 7. Данная запись сделана в точке с координатами 47° в. д., 25° ю. ш. 2 февраля 1991 г. в 20:02:30 универсального времени.

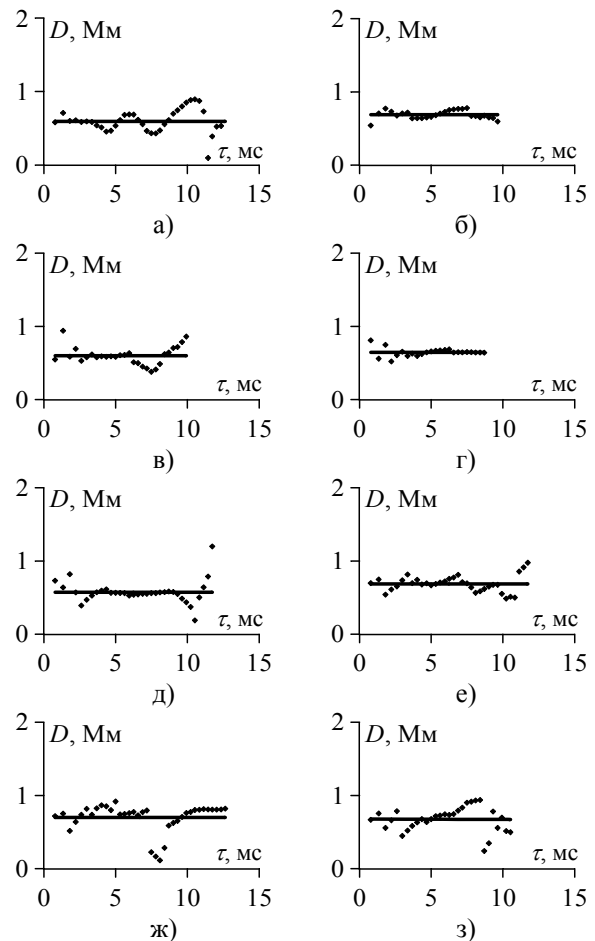


Рис. 7. Оценки высоты ионосферы и дистанции до источника по 1–8-й дисперсионным ветвям твика (а-з соответственно)

В табл. 3 приведены параметры, определенные отдельно по восьми ветвям. Видно, что среднеквадратические отклонения составляют 10–30 % по дальности и 1–2 % по высоте. Усредненные по всем ветвям величины дальности и эффективной высоты равны  $(0,64 \pm 0,15)$  Мм и  $(89,7 \pm 1,7)$  км соответственно. Для всех ветвей данного твика они лежат в пределах 70 % доверительного интервала ( $\pm\sigma$ ).

Таблица 3

№ ветви	$h$ , км	$D$ , Мм
1	$90,87 \pm 1,05$	$0,59 \pm 0,16$
2	$90,56 \pm 1,47$	$0,69 \pm 0,06$
3	$89,49 \pm 2,06$	$0,60 \pm 0,13$
4	$89,58 \pm 1,70$	$0,65 \pm 0,06$
5	$88,70 \pm 1,79$	$0,57 \pm 0,11$
6	$89,07 \pm 1,01$	$0,69 \pm 0,11$
7	$89,79 \pm 1,48$	$0,70 \pm 0,19$
8	$89,68 \pm 1,76$	$0,68 \pm 0,17$

Рис. 8 демонстрирует средние и табличные значения параметров, определенные по 1–8-й модам. Видно, что средние значения оценок  $h$  и  $D$  находятся в пределах доверительного интервала по уровню  $\pm\sigma$  для всех мод.

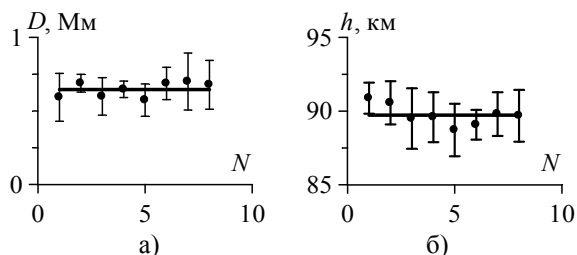


Рис. 8. Оценки значений дальности до источника (а) и эффективной высоты ионосферы (б). Показаны доверительные интервалы по уровню значимости 70 % ( $\pm\sigma$ ) и средние значения параметров по всем модам

**Выводы.** Таким образом, предложен алгоритм построения дисперсионных зависимостей по динамическим спектрам твик-атмосфериков и определения эффективной высоты ионосферы и дальности до молнии. Предложенный алгоритм позволяет повысить эффективность применения сонограммного метода, оценить погрешности определения дальности и высоты, он может быть использован для построения автоматизированной системы мониторинга нижней ионосферы и однопозиционной локации молний. Работа алгоритма продемонстрирована на экспериментальных записях твик-атмосфериков для дистанций в диапазоне 0,6...2,5 Мм. Показано, что предложенный алгоритм может обеспечить точность определения дистанции до 10 %, а высоты до 1 % при дальностях до источника более 1000 км.

- Ohtsu J. Numerical study of tweeks based on wave-guide mode theory / J. Ohtsu // Proc. Res. Inst. Atmos. Nagoya Univ. – 1960. – 7. – P. 58–71.
- Cummer S. A. Lightning and ionospheric remote sensing using VLF/ELF radio atmospherics: Ph. D. diss. / S. A. Cummer. – Stanford: Department Electrical Engineering of Stanford Univ. – 1997. – 127 p.
- Cummer S. A. Ionospheric D-region remote sensing using VLF radio atmospherics / S. A. Cummer, U. S. Inan, T. F. Bell // Radio Sci. – 1998. – 33, N 6. – P. 1781–1792.
- Cummer S. A. Modelling electromagnetic propagation in the Earth-ionosphere waveguide / S. A. Cummer // IEEE Trans. Ant. Prop. – 2000. – 48, N 9. – P. 1420–1429.
- Recent findings on VLF/ELF spherics / M. Hayakawa, K. Ohta, S. Shimakura, K. Baba // J. Atmos. Terr. Phys. – 1995. – 57, N 5. – P. 467–477.
- Yamashita M. Some consideration of the polarization error in direction finding of atmospherics-I. Effect of the Earth's magnetic field / M. Yamashita, K. Sao // J. Atmos. Terr. Phys. – 1974. – 36, N 10. – P. 1623–1632.
- Yano S. Wave-form analysis of tweek atmospherics / S. Yano, T. Ogawa, H. Hagino // Res. Lett. Atmos. Electr. – 1989. – 9. – P. 31–42.
- Yano S. Dispersion Characteristics and Waveform Analysis of Tweek Atmospherics // Environmental and Space Electromagnetics / S. Yano, T. Ogawa, H. Hagino; ed. by H. Kikuchi. – Tokyo: Springer-Verlag, 1991. – P. 227–236.
- Experimental investigation of the tweek field structure / D. Ye. Yedemsky, B. S. Ryabov, A. Yu. Shchokotov, V. S. Yarotsky // Adv. Space Res. – 1992. – 12, N 6. – P. 251–254.
- Рафальский В. А. Резонансные явления в поперечном сечении промежутка Земля-ионосфера и их влияние на возбуждение и распространение радиоволн: дис. ...канд. физ.-мат. наук / В. А. Рафальский. – Х.: Радиоастрономич. ин-т АН Украины, 1991. – 112 с.
- Швец А. В. Экспериментальное исследование распространения СНЧ-СДВ атмосфериков и динамика мировой грозовой активности: дис. ...канд. физ.-мат. наук / А. В. Швец. – Х.: Харьков. гос. ун-т, 1994. – 153 с.
- Михайлова Г. А. Тонкая частотно-временная структура атмосфериков типа «твики» и ОНЧ диагностика параметров ночной нижней ионосферы / Г. А. Михайлова, О. В. Капустина // Геомагнетизм и аэронавигация. – 1988. – 28, № 6. – С. 1015–1018.
- Yamashita M. Propagation of tweek atmospherics / M. Yamashita // J. Atmos. Terr. Phys. – 1978. – 40, iss. 2. – P. 151–156.
- Hayakawa M. Wave characteristics of tweek atmospherics deduced from the direction-finding measurement and theoretical interpretation / M. Hayakawa, K. Ohta, K. Baba // J. Geophys. Res. – 1995. – 99, N D5. – P. 10733–10743.
- Shvets A. V. Polarization effects for tweek propagation / A. V. Shvets, M. Hayakawa // J Atmos. Solar-Terr. Phys. – 1998. – 60, N 4. – P. 461–469.
- Швец А. В. О поляризационных свойствах твиков / А. В. Швец // Радиофизика и электрон.: сб. научн. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 1997. – 2, № 2. – С. 101–106.
- A time domain direction finding technique for locating wide band atmospherics / A. P. Nickolaenko, V. A. Rafalsky, A. V. Shvets, M. Hayakawa // J. Atmos. Electricity. – 1994. – 14, N 1. – P. 97–107.
- Rafalsky V. A. One-site distance-finding technique for locating lightning discharges / V. A. Rafalsky, A. V. Shvets, M. Hayakawa // J. Atmos. Terr. Phys. – 1995. – 57, N 11. – P. 1255–1261.
- Brundell J. B. Validation of single station lightning location technique / J. B. Brundell, C. J. Rodger, R. L. Dowden // Radio Sci. – 2002. – 37, N 4. – P. 1059–1067.
- Швец А. В. Метод локации молний и оценки параметров нижней ионосферы с помощью твик-атмосфериков / А. В. Швец, Ю. В. Горишня // Радиофизика и электрон. – 2010. – 15, № 2. – С. 63–70.

A. V. Shvets, Yu. V. Gorishnya

LIGHTNING LOCATION AND ESTIMATION  
OF THE LOWER IONOSPHERE EFFECTIVE  
HEIGHT USING DISPERSION PROPERTIES  
OF TWEAK-ATMOSPHERICS

A technique for distance finding to lightning discharges and the effective height of the lower ionosphere based on dispersion properties of tweek-atmospherics (tweeks), which propagate in the Earth-ionosphere waveguide during nighttime, is proposed. Examples of the distance (in the range from 500 to 2500 km) and effective ionospheric height estimation are demonstrated on experimental records of tweeks. Accuracy of estimations of the parameters in the proposed algorithm are obtained.

**Key words:** lightning location, Earth-ionosphere waveguide, lower ionosphere monitoring.

О. В. Швець, Ю. В. Горішня

ЛОКАЦІЯ БЛИСКАВОК  
ТА ОЦІНКА ВИСОТИ НИЖНЬОЇ ІОНОСФЕРИ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСПЕРСІЙНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ТВІК-АТМОСФЕРИКІВ

Запропоновано новий метод визначення дистанції до блискавки та ефективної висоти нижньої межі іоносфери на основі явища частотної дисперсії сигналів твік-атмосфериків (твіків), що поширюються у хвилеводі Земля-іоносфера в нічний час. Наведено приклади визначення за допомогою запропонованого методу дальності до блискавки (у діапазоні 500...2500 км) та ефективної висоти іоносфери вздовж траси поширення твіка за експериментальними записами. Одержані оцінки точності визначення висоти та дальності при використанні описаного алгоритму.

**Ключові слова:** локація блискавок, хвилевід Земля-іоносфера, моніторинг нижньої іоносфери.

*Рукопись поступила 06.07.11 г.*