

Л. Б. ВОЛКОВА, Ю. П. ФЕДОРЕНКО, канд. физ.-мат. наук

РЕГИОНАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОСФЕРЫ

В работе [1] предложен метод оперативного определения трехмерного распределения электронной концентрации $N(Z, \varphi, \lambda)$ (Z — высота над поверхностью Земли; φ, λ — географическая широта и долгота). Согласно этому методу по измерениям вертикального распределения электронной концентрации ионосферы $N_1(Z)$ в пункте с координатами φ_1, λ_1 и зенитным углом Солнца χ_1 возможно определить высотное распределение $N(Z)$ в любом другом пункте с координатами φ, λ и зенитным углом χ по формуле

$$N(Z, \varphi, \lambda) = N_1(Z) \cdot \cos \chi / \cos \chi_1 \cdot f(Z, \varphi, \lambda), \quad (1)$$

где $f(Z, \varphi, \lambda)$ — региональная зависимость электронной концентрации ионосферы.

Учет зависимости $f(Z, \varphi, \lambda)$ позволяет по измерениям $N_1(Z)$ экстраполировать значения $N(Z)$ на удаления до трех тысяч километров с погрешностью, которая в 2—6 раз меньше погрешности прогнозирования самых совершенных глобальных моделей ионосферы [2] и составляет летом 20 %, весной и зимой около 30 %. Поэтому исследование региональной зависимости электронной концентрации ионосферы является актуальным.

Впервые зависимость N от координат земной поверхности была обнаружена в акватории океанов [3]. В настоящее время установлены отдельные местоположения, где она проявляется наиболее сильно, ее природа во многом неясна.

Для выявления широтного хода $f(\varphi)$ были отобраны ионограммы всех пунктов вертикального зондирования ионосферы (ВЗ) СССР (интервал широт $\varphi=40-70^\circ$ СШ), которые имели примерно одинаковую долготу ($\lambda=30-40^\circ$ ВД). При этом время их измерений выбиралось таким, чтобы зенитный угол Солнца

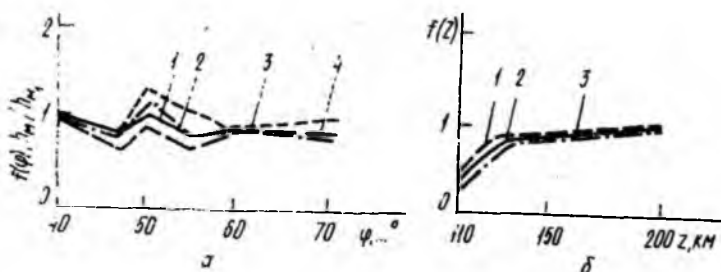


Рис. 1

во всех пунктах был одинаков (он выбран равным $\chi=46^\circ$). Ионограммы отобраны для июня 1976 г. Затем, вычислив среднемесячные профили $N(Z)$ в каждом пункте и проинтерполировав их на значения, относящиеся к пункту с минимальной широтой (в нашем случае $\varphi_{\min}=41^\circ 43'$), получили искомую зависимость $f(Z, \varphi)$.

На рис. 1, а (кривая 3) эта функция приведена для $Z=110$ км, где наблюдаются наибольшие ее отличия от единицы, которые дальше будем называть аномалиями. На рис. 1, б (кривая 3) иллюстрируется высотная зависимость аномалии $f(Z)$ для $\varphi=47^\circ$ СШ.

Функция $f(Z, \varphi, \lambda)$ получена также при помощи формулы (1). При этом профили $N(Z)$ определены в совпадающий момент времени в диапазоне высот от 100 км до высоты основного максимума ионосферы с шагом $\Delta Z=10$ км в Москве, Ленинграде, Мурманске, Киеве, Ростове, Горьком, Калининграде, Новосибирске (перечисленные пункты расположены в интервале северных широт $\varphi=42-69^\circ$ и восточных долгот $\lambda=20-83^\circ$).

Протяженность исследуемого региона вдоль параллели (около 55° СШ) и меридиана (около 37° ВД) составляет около 3000 км. Ионограммы (всего примерно 3000 шт.) из указанных пунктов отбирались в совпадающие моменты времени для полночи, полдня, восхода и захода Солнца в г. Москве. При этом были выбраны периоды летнего и зимнего солнцестояния (июнь, декабрь), весеннего равноденствия (март) при максимуме (1970 г.) и минимуме (1976 г.) солнечной активности (СА).

С целью уменьшения погрешности $N(Z)$ -профили рассчитывались только по ионограммам высокого качества, что уменьшило массив $N(Z)$ -профилей до 2000 шт. Значения N на каждой выбранной высоте нормировались на соответствующее значение N в пункте с минимальной широтой и умножались согласно

формуле (1) на $\cos \chi / \cos \chi_1$ (здесь χ_1 — значение зенитного угла Солнца в пункте с минимальной широтой, т. е. Тбилиси). Широтный ход $f(\varphi)$ среднемесячных значений для июня ($Z=110$ км) максимума СА (кривая 1), минимума СА (кривая 2) приведен на рис. 1, а, а на рис. 1, б — высотные зависимости его аномалии

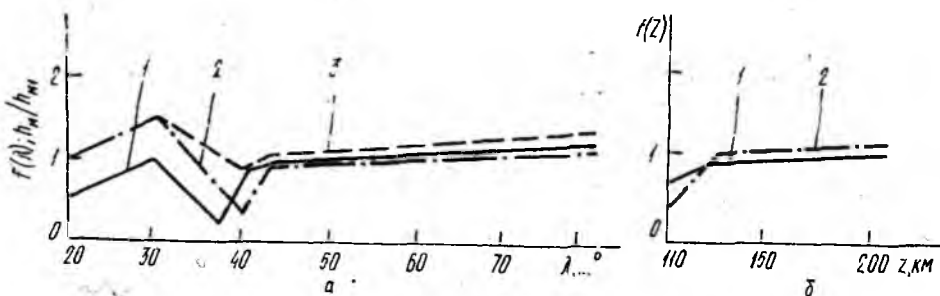


Рис. 2

при $\varphi=47^\circ$. Как видно, кривые, определенные первым и вторым методами, удовлетворительно согласуются между собой. Однако широтные и высотные зависимости $f(Z, \varphi)$ для декабря и июня не совпадают между собой.

Долготные зависимости $f(\lambda)$ для июня при максимуме СА иллюстрируются на рис. 2, а, высотные зависимости их аномалий — на рис. 2, б. Обозначения те же, что и на рис. 1, нормировка кривых выполнялась по измерениям в г. Горьком. Значения φ при этом изменялись в интервале $\varphi=54-56^\circ$ северной широты.

На рис. 1, а (кривая 4) для широтной цепочки пунктов приведены значения h_M/h_{MT} , где h_M — глубина слоя Мохо [4], h_{MT} — глубина слоя Мохо в выбранном пункте с минимальной широтой (в нашем случае Тбилиси — $\varphi=41^\circ 43'$). На рис. 2, а (кривая 3) приведена аналогичная зависимость для долготной цепочки пунктов. Значения h_M в ней нормировались на значения в г. Горьком ($\varphi=56^\circ 09'$ СШ; $\lambda=44^\circ 17'$). Как видно, зависимости $h_M/h_{MT}(\varphi)$ и $f(\varphi)$ (см. рис. 1, а), а также $h_M/h_{MT}(\lambda)$ и $f(\lambda)$ (см. рис. 2, а) являются подобными.

Приведенные результаты позволяют высказать предположение о том, что обнаруженные особенности $f(Z, \varphi, \lambda)$ объясняются совместным действием следующих причин: влиянием на ионизацию ионосферы электрических полей подземных электрических токов, пространственная (в данном случае региональная) модуляция которых происходит в результате их частичной экранировки земной корой различной толщины; сезонным изменением ионосферных дрейфов; аномалиями геомагнитного поля.

На связь ионосферных нерегулярностей со специфическими неоднородностями верхних слоев Земли указывается также в работе [5].

Итак, обнаружена зависимость электронной концентрации ионосферы от координат земной поверхности для региона СССР. Показано, что эта зависимость частично определяется глубиной залегания слоя Мохо. Показано, что $f(Z, \varphi, \lambda)$ практически не зависит от изменения солнечной активности, зенитного угла Солнца и уменьшается с увеличением высоты. На высоте главного максимума ионосферы она не прослеживается. Установлено, что $f(Z, \varphi, \lambda)$ зависит от сезона года.

Список литературы: 1. Волкова Л. Б., Федоренко Ю. П. Определение трехмерного распределения электронной концентрации ионосферы по измерениям в одном пункте//XIV Всесоюз. конф. по распространению радиоволн: Тез. докл. (Л., окт. 1984 г.), М., 1984. Ч. 1. С. 67—68. 2. International Reference Ionosphere URSI—COSPAR. 1978. 75 p. 3. Планетарное распределение поглощения радиоволн в ионосфере/Гвишвили Г. В., Флигель М. Д., Лещенко Л. Н./Геомagnetизм и астрономия. 1980. Т. XX, № 1, С. 275—279. 4. Борисов А. А. Глубинная структура СССР по геофизическим данным. М., 1962. 342 с. 5. Duhau S., Osella A. M. Evidence of mutual induction between the ionosphere and the Earth at equatorial latitudes//J. Geophys. Res. 1985. A 90, N 5. P. 4434—4438.

Поступила в редколлегию 01.02.89