

УДК 551.510.535+538.7

## ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ СМЕЩЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЮСОВ ДЛЯ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

© 2006 г. А. Н. Ляхов, Ю. И. Зецер, Т. Фуллер-Роуелл

Представлено академиком В.В. Адушкиным 27.12.2005 г.

Поступило 19.01.2006 г.

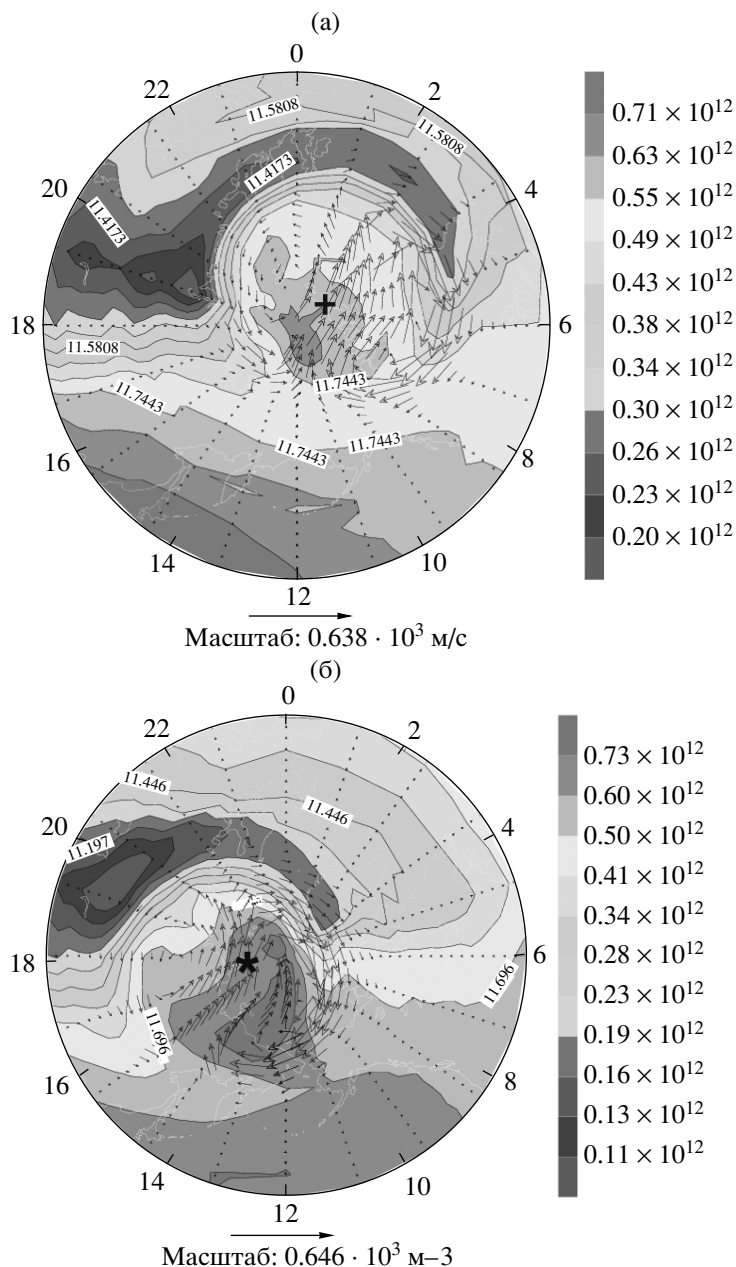
1. С 70-х годов XX века скорость и ускорение движения северного магнитного полюса (СМП) начали резко расти, более чем удвоившись за последние 30 лет (до 46 км/год) [1]. Скорость смещения южного магнитного полюса в этот же период стала уменьшаться и с 1986 г. его движение практически прекратилось. “Блуждание” по территории Северной Канады сменилось устойчивым, практически прямолинейным движением в направлении Российского сектора Арктики с линейно нарастающим ускорением. Экстраполяция координат СМП при сохранении существующего тренда предсказывает, что к 2050 г. СМП будет располагаться в районе архипелага Северная Земля. Такое смещение СМП может вызвать целый ряд физических последствий в атмосфере и ионосфере Земли.

2. Известно, что существующая структура ионосферы и термосферы Земли отражает динамическое равновесие между поступлением энергии с солнечным излучением, зависящим от географических координат, и вводом энергии из магнитосферы с потоками энергичных заряженных частиц в зоне аврорального овала [2], зависящим от геомагнитных координат места. Смещение магнитных полюсов окажет влияние на следующие физические процессы: 1) изменится баланс солнечной и корпускулярной ионизации; 2) в средних широтах в сместившейся авроральной зоне будет происходить интенсивный рост ионизации в E-слое, что окажет прямое влияние на распространение радиоволн; 3) новая пространственная структура конвекции плазмы изменит формирование и положение главного ионосферного провала; 4) максимум интенсивности джоулева нагрева сместится в средние широты, что повлияет на распределение таких параметров нейтральной атмосферы, как температура, отношение  $[O]/[N_2]$  и вертикальная скорость ветра; 5) изменится си-

стема нейтральных ветров и отклик ионосферы на магнитные бури.

При прогнозируемом положении СМП авроральный овал будет покрывать все крупные города России во время магнитных возмущений. Ранее [3] мы моделировали влияние смещения полюса только на концентрацию плазмы в ионосфере с использованием одномерной модели [4]. Было показано, что рост концентрации электронов приведет к тому, что в средних широтах критические частоты E-слоя в летние месяцы превысят современные рабочие частоты F2-слоя, сделав практически невозможной радиосвязь в КВ-диапазоне.

3. Моделирование глобальной перестройки структуры и динамики верхней атмосферы Земли при смещении магнитного полюса ионосферы и термосферы СТМ [5]. Это самосогласованная полностью нелинейная модель, позволяющая рассчитывать ветра, концентрации и температуры как нейтральной компоненты, так и заряженной с разрешением  $2^\circ$  по широте на  $18^\circ$  по долготе с 15 слоями по высоте. Параметризация авроральных высыпаний выполнена с использованием модели TIROS-NOAA и учитывает зависимость параметров овала от магнитной активности. Координаты СМП на 2050 г. оценены нами как  $125^\circ$  в.д.  $75^\circ$  с.ш. Положение южного магнитного полюса было заморожено на момент, соответствующий 2000 г. [1]. Расчеты при текущем и прогнозируемом положении СМП выполнены для четырех сезонов (зима, весна, лето, осень) при слабой магнитной активности (индекс  $K_p = 2$ ) и умеренной солнечной активности (индекс  $F_{10.7} = 120$ ). Для зимы (9 декабря) был дополнительно выполнен расчет для случая сильной магнитной бури ( $K_p = 7+$ ) продолжительностью 12 ч. На рис. 1а и 1б представлено распределение NmF2 (концентрация электронов в максимуме F2-слоя ионосферы – интегральная величина, зависящая от источников ионизации, температуры, нейтрального состава и ветра), а на рис. 2а и 2б – распределение высоты F2-слоя в северном полушарии для весеннего равноденствия на 0 UT. Главная конвективная ячейка смещается на дневную сторону, вызывая дополнительный рост концентрации электронов, и по-



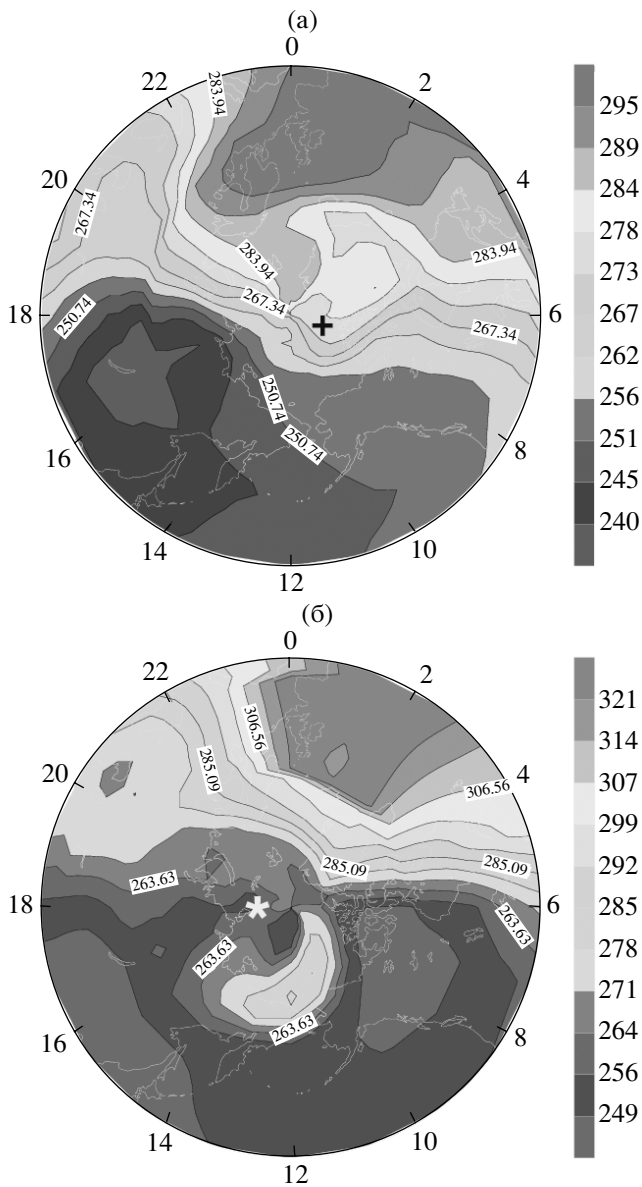
**Рис. 1.** Концентрация электронов в максимуме F2-слоя ( $\text{NmF2}$  в  $\text{м}^{-3}$ ) на 0 UT (весеннее равноденствие) и скорость конвекции плазмы в  $\text{м/с}$  при текущем положении магнитного полюса (крест) и при положении магнитного полюса в 2050 г. (звездочка). Числа на лимбе показывают локальное время.

лярная ионосфера сливается со среднеширотной. Изменяется схема контроля ионосферы мировым временем и формирования главного ионосферного провала [6]. На дневной стороне распределение  $h\text{mF2}$  качественно меняется, и в целом F2-слой поднимается на 20–30 км, что вызвано усилением нагрева.

Сравнение результатов в разные сезоны и в разные моменты времени показало, что качественно картина воспроизводится со сдвигом примерно на 12 ч. Однако смещение СМП не ведет к

симметричному смещению авроральной зоны в новое положение. Изменение фазового сдвига между магнитным и солнечным локальным временем ведет к тому, что при качественной схожести распределения параметров ионосферы все же различаются и количественно, и по структуре. Различие максимально в равноденственные периоды и минимально летом, во всяком случае, в магнитоспокойных условиях.

Расчеты токовой системы показали, что самые мощные токи при сместившемся магнитной



**Рис. 2.** Высота максимума F2-слоя (hmF2 в км) на 0 UT (весеннее равноденствие) при текущем положении магнитного полюса (крест) и при положении магнитного в 2050 г. (звездочка).

полюсе будут течь над территорией Восточной Сибири, а во время магнитных бурь они будут смещаться почти до  $40^\circ$  с.ш.

Моделирование магнитной бури и сравнение результатов с ранее полученными [5] подтвердили изменение отклика ионосферы и термосферы на магнитные возмущения. В вечерние часы концентрация электронов над севером Восточной Сибири будет на порядок выше ныне существующей. В этой же зоне наблюдается практически полное исчезновение F2-слоя, что вызвано интенсивным нагревом нейтральной атмосферы и изменением отношения  $[O]/[N_2]$ . Изменения нейтрального ветра будут максимальны в средних широтах Северной Америки, над Атлантикой и югом Западной Европы. Из возможных техногенных последствий смещения СМП укажем следующие: полное изменение условий КВ-радиосвязи над территорией России; нарушение работы спутниковых навигационных систем, так как они используют алгоритмы ионосферной коррекции, построенные на эмпирических моделях, применимость последних станет невозможной. Также необходима аккуратная инженерная оценка наведенных геомагнитно-индуцированных токов в энергосетях при смещении СМП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Manda M., Dormy E. // *Earth and Planets Space*. 2003. V. 55. № 3. P. 153–157.
2. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 210 с.
3. Ляхов А.Н. В кн.: Динамика взаимодействующих геосфер. М.: ИДГ РАН, 2004. С. 296–302.
4. Смирнова Н.В., Ляхов А.Н., Зецер Ю.И. и др. // *Косм. исследования*. 2004. Т. 42. № 3. С. 210–218.
5. Fuller-Rowell T., Rees D., Quegan S. et al. A Coupled Thermosphere-Ionosphere Model. STEP Handbook on Ionospheric Models. Logan: Utah State Univ., 1996. P. 217–238.
6. Колесник А.Г., Голиков И.А., Чернышев В.И. Математические модели ионосферы. Томск: МГП “Раско”, 1993. 238 с.