

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ГЕОМАГНЕТИЗМ
И
АЭРОНОМИЯ

Том XV

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

4

МОСКВА · 1975

УДК 521.61 : 550.388.2

ИССЛЕДОВАНИЯ В ИОНОСФЕРЕ ПРИ ПОМОЩИ СПУТНИКА «КОСМОС-378»

7. ОДНОВРЕМЕННЫЕ НАЗЕМНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ

*В. В. Афонин, Г. Л. Гдалевич, В. Ф. Губский,
Г. А. Жеребцов, В. А. Курилов, О. М. Пирог,
С. М. Шеронова*

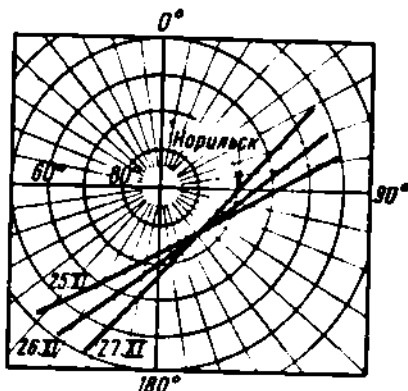
В зимний период 1970 г. проводились одновременные измерения параметров высокоширотной ионосферной плазмы в ночное время с помощью спутника «Космос-378» и наземного комплекса геофизической обсерватории Норильск. Сопоставление данных наземных и спутниковых измерений показало хорошее соответствие n_e при использовании аппроксимации Чепмена для α -слоя и модели верхней атмосферы Якля-1971.

Предпринята попытка получить распределения n_e , T_e , T_i выше главного максимума, h_{max} по данным ионосферной станции Норильск ($\varphi = 69^\circ 29'$, $\lambda = 88^\circ 05' E$). Для оценки методики, с помощью которой осуществлена экстраполяция n_e и T_e , проведено сопоставление рассчитанных данных с результатами непосредственных измерений этих параметров на спутнике «Космос-378».

Спутник «Космос-378» был выведен 17.XI 1970 г. на орбиту с параметрами: апогей ~ 1770 км, перигей ~ 240 км, наклонение $\sim 74^\circ$. На борту спутника были установлены различные зондовые приборы для измерений концентрации и температуразаряженных частиц в ионосфере [1].

Во время пролета спутника над ст. Норильск проводилось ежеминутное зондирование ионосферы и определение геофизической обстановки. При сопоставлении наземных и спутниковых данных следует иметь в виду, что полярная ионосфера часто быстро изменяется. Поэтому для сопоставления выбраны такие три пролета спутника «Космос-378» над ст. Норильск (фиг. 1), во время которых, по данным спутниковых и наземных измерений, отсутствовали значительные изменения параметров ионосферы в пределах ± 1 мин. относительно момента времени сопоставления результатов.

На фиг. 2а, 3а, 4а приведены значения n_e и T_e , измеренные на спутнике: n_e — по данным цилиндрического зонда Ленгмюра, T_e — по данным высокочастотного зонда (фиг. 2а и 3а) и сферического зонда Ленгмюра (фиг. 4а) [2]. Видно, что изменения значений n_e и T_e за время 1 мин. относительно выбранного времени (отмечено стрелкой) малы.

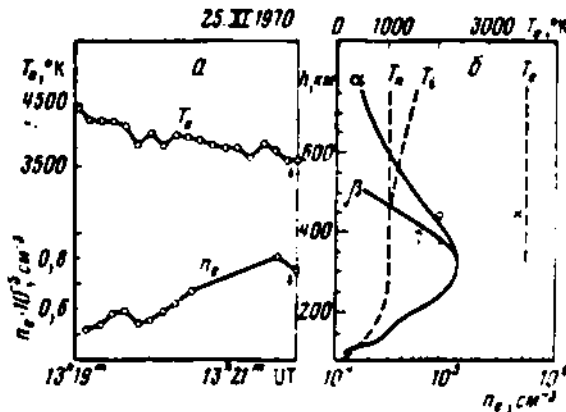


Фиг. 1

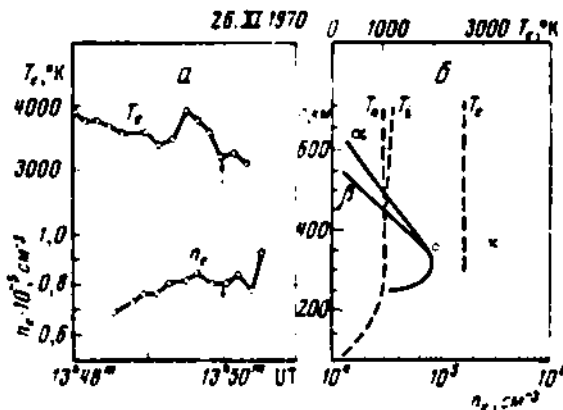
На фиг. 26, 36, 46 приведены значения n_e , T_e , T_i по данным ионосферной станции. Расчет $n_e(h)$ -профилей производится по монограммам десятиточечным методом. Данные монограмм экстраполированы на высоты больше h_{\max} согласно аппроксимации Чепмэна для α - и β -слоев:

$$n_e = n_{e\max} \exp \gamma \left[1 - \frac{h - h_{\max}}{H} - \exp \left(- \frac{h - h_{\max}}{H} \right) \right]. \quad (1)$$

где $\gamma = 1$ для β -слоя и 0,5 для α -слоя; H — шкала высот нейтральной атмосферы ($H = kT_n/mg$). Температура T_n определялась согласно модели



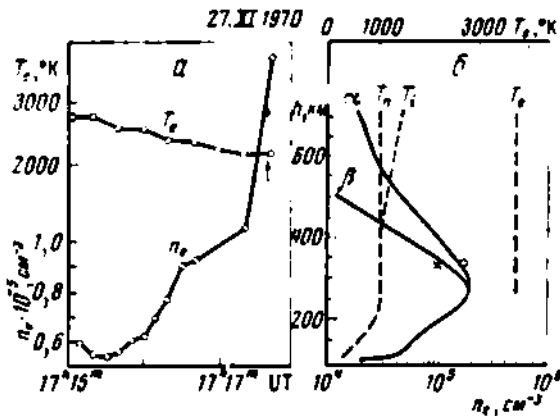
Фиг. 2



Фиг. 3

Яккия-1971 [3] для Норильска во время пролета спутника. При использовании аппроксимаций Чепмэна для простого слоя и квадратичного (α) или линейного (β) закона рекомбинации мы исходили из следующего. Чепмэновский слой близок по форме к диффузионно-равновесному [4]. Для дневных среднеширотных условий форма $n_e(h)$ -профиля выше максимума $F2$ определяется диффузионно-рекомбинационным равновесием [5]. В полярной ионосфере в ночных условиях, зимой, когда отсутствует ультрафиолетовый источник ионизации, образование плазмы происходит под воздействием потоков высыпавшихся электронов (протонов). Очевидно, что скорость ионообразования существенно увеличивается при вторжении потоков в нижнюю ионосферу (при одинаковых потоках мяг-

ных ($< 0,5 \text{ кэВ}$) и жестких ($> 1 \text{ кэВ}$) электронов превышение скорости ионизации q в области E ионосферы над q в области F достигает $10^4 \div 10^5$ раз). Известно, что форма $n_e(h)$ -профиля ниже максимума $n_{e\text{max}}$ определяется в основном спектральной плотностью потока ионизирующих частиц. Выше $n_{e\text{max}}$ форма слоя определяется диффузионно-рекомбинационным равновесием, поэтому мы воспользовались аппроксимацией Чепмена. Кроме того, такая попытка представляет интерес, поскольку на средних широтах в балансе ночной ионизации области F существенную роль играют потоки заряженных частиц из плазмосферы, а в авроральной



Фиг. 4

ионосфере роль переноса ионизации из плазмосферы не ясна, так как магнитные силовые линии в этой области разомкнуты.

Определение T_n в (1) производилось с учетом солнечной активности, геомагнитной активности и суточного хода температуры экзосферы по методике Яккия [3]; при этом принималось

$$T_n = \left(\frac{T_i}{T_c} \right) T_c + \Delta T_{K_p}, \quad (2)$$

где T_c — минимальное ночное значение в глобальном распределении температуры экзосферы,

$$T_c = 379^\circ + 3,24^\circ F_{10,7} + 1,3^\circ (F_{10,7} - F_{10,7}) \quad (\text{для } K_p = 0);$$

T_i — минимальная температура экзосферы на широте Норильска; $F_{10,7}$ — поток радионизлучения на $\lambda = 10,7 \text{ см}$ в единицах $10^{-22} \text{ ст} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ц}^{-1}$; $F_{10,7}$ — усредненный за три 27-дневных цикла поток; ΔT_{K_p} — возрастание температуры экзосферы за счет геомагнитных возмущений.

Зависимость ΔT_{K_p} от K_p определена эмпирически и протабулирована в работе [6].

Для определения T_e и T_i использовались два выражения. Первое из них связывает отношение T_e/T_i с полутолщиной $n_e(h)$ -профиля [7]

$$T_e/T_i = y_m/H - 1, \quad (3)$$

где y_m — полутолщина $n_e(h)$ -профиля; H — шкала высот нейтральной атмосферы.

Второе выражение получено в [8, 9] для ионной температуры без учета теплопроводности;

$$T_i = \frac{T_n + a (n_e/n_n) T_e^{-1}}{1 + a (n_e/n_n) T_e^{-1}}, \quad (4)$$

где $a = 6 \cdot 10^8$, n_n и T_n — концентрация и температура нейтральной атмосферы, вычисленные по модели Яккия-1971.

Рассматривая выражения (3) и (4) как уравнения с двумя неизвестными T_e и T_i и решая их относительно T_e , получаем следующее уравнение

$$T_e^{3/2} - \frac{T_n}{k} T_e^{1/2} + \frac{a}{k} \frac{n_e}{n_n} (k-1) = 0, \quad k = \left(\frac{y_m}{H} - 1 \right)^{-1}. \quad (5)$$

Решением (5) является

$$T_e = \frac{4}{3} \frac{T_n}{k} \cos^2 \frac{\varphi}{3}, \quad \cos \varphi = -\frac{a}{k} \frac{n_e}{n_n} (k-1) / 2 \left(\frac{T_n}{3k} \right)^{1/2}. \quad (6)$$

Отметим, что при таком определении вычисленные значения T_e относятся к области $n_{e\max}$. Выше $n_{e\max}$ T_e и T_n не изменяются.

На фиг. 2а, 3а, 4а приведены значения n_e и T_e (обозначенные соответственно точками и косыми крестами) по данным зондовых измерений на высоте пролета спутника над ст. Норильск. Видно, что значения n_e в пределах 10% совпадают с вычисленными значениями n_e по аппроксимации Чепмана α -слоем. Во всех приведенных случаях спутник при пролете над Норильском находился над высотой h_{\max} в пределах высоты однородной атмосферы. Поэтому для установления возможности определения n_e на больших высотах при использовании аппроксимаций Чепмана следует провести сопоставление с данными спутниковых измерений на соответствующих высотах. Определенные по данным наземных и спутниковых измерений значения T_e , приведенные на фиг. 2а, довольно близки; значения T_e , приведенные на фиг. 3а и 4а, отличаются на 600 и 1600° К соответственно. Возможно, что отличие связано либо с высотными изменениями T_e , либо с недостаточной точностью определения по полутолщине слоя.

Разумеется, приведенных трех случаев сравнения недостаточно, чтобы делать какие-либо определенные выводы о применимости аппроксимации высотного хода n_e выше $n_{e\max}$ в полярной ионосфере. В рассмотренных же нами случаях в южной полярной ионосфере при умеренном возмущении, при экстраполяции данных измерений ионосферной станцией на большие высоты с использованием модели Яккия-1971 применение аппроксимации α -слоем Чепмана оказалось предпочтительнее, чем применение аппроксимации β -слоем.

Методика определения T_e по данным ионосферной станции, на большие высоты требует дополнительного анализа.

В заключение авторы выражают благодарность К. И. Грингаузу за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Грингауз, Г. Л. Гдалевич. Геомагн. и аэрономия, 1974, 14, 830.
2. В. В. Афонин и др. Геомагн. и аэрономия, 1975, 15, 615.
3. L. G. Jacchia. Revised static models of the thermosphere and exosphere with empirical temperature profiles. 02—138, 1971. Smithsonian Astrophys. Observ. Report 332. Cambridge, Massachusetts.
4. S. A. Bowhill. J. Atmos. Terr. Phys., 1962, 24, 503.
5. В. М. Поляков. Сб. «Ионосферные исследования», вып. 17, «Наука», 1969, 5.
6. L. G. Jacchia, J. Slowey, Vernishi. J. Geophys. Res., 1967, 72, 1423.
7. Дж. У. Райт. Электронная концентрация в ионосфере и экзосфере. «Мир», 1966, 200.
8. P. M. Banks. Proc. IEEE, 1969, 57, 258.
9. P. M. Banks. J. Geophys. Res., 1967, 72, 3365.