

**«ГЕОМАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ» ШИРОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
 ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ F2 СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ**

Чхетია А.М.

*Институт геофизики им. М. З. Нодиа, 0193, Тбилиси, ул. М.Алексидзе, 1.
 E-Mail: www.ggs.org.ge*

Ионизация нейтральных компонент атмосферы, в основном, вызывается рентгеновским и ультрафиолетовым излучениями Солнца. Поэтому плотность электронов в ионосфере изменяется в зависимости от зенитного угла Солнца. В теории «простого слоя Чепмена» [1] показано, что характер зависимости электронной концентрации N_{max} от зенитного угла Солнца (χ) выражается формулой:

$$N_{max} = k\sqrt{\cos\chi} = k\sqrt{\sin\delta\cos\theta + \cos\delta\sin\theta\cos\phi} \quad (1)$$

где δ – склонение Солнца, θ – дополнение по отношению к широте (угол – $\theta = 90^\circ - \phi$ – географическая широта), t – местное время в угловых единицах ($t=0$ соответствует полудню). Зенитный угол Солнца строго определенным образом зависит от времени года (в зимние месяцы δ наименьшее – $23,5^\circ$, в летние месяцы наибольшее $+23,5^\circ$, а в равноденственные периоды $\delta = 0^\circ$), от географической широты ($\theta=90^\circ-\phi$) и от времени суток (t). Согласно теории С. Чепмена на экваторе в полдень должен наблюдаться максимум электронной концентрации. В результате многолетних измерений, проведенных в различных точках земного шара, было установлено, что для области f_{min} , E и F₁ ионосферы электронная концентрация довольно удовлетворительно согласуется с законом $k\sqrt{\cos\chi}$, однако вариации электронной концентрации F2-слоя ионосферы имеют сложный характер и существенно отличаются от теории «простого слоя Чепмена».

Характерной формой широтного распределения полуденных значений максимальной электронной концентрации F2 слоя ионосферы является распределение с двумя максимумами в районах с магнитным наклонением $I \approx 30^\circ$ северной и южной широты и с «минимумом» вблизи магнитного экватора. В качестве примера на рис.1 приводятся среднегодовые (за 1962 г.) зависимости полуденных значений критических частот f_{min} , $f_0 E$, $f_0 F_1$ и $f_0 F_2$ от магнитного наклонения.

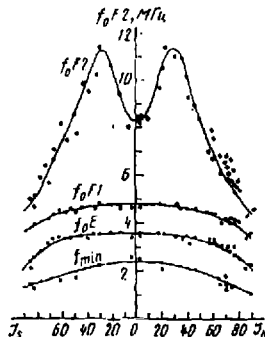


Рис.1. Широтные распределения среднегодовых полуденных значений критических частот f_{min} , $f_0 E$, $f_0 F_1$ и $f_0 F_2$ от магнитного наклонения.

Приэкваториальные максимумы и провал у геомагнитного экватора $f_0 F2$, известны в литературе, как «экваториальная или геомагнитная аномалия». На наличие провала в широтном распределении $f_0 F2$ впервые указал Эпплтон [2]. Уже из первых работ [2] и дальнейших исследований стало ясно, что особенности экваториального слоя F2 обусловлены влиянием магнитного поля Земли.

В настоящее время существуют как качественные, так и количественные объяснения природы «геомагнитной аномалии».

Качественные объяснения природы «геомагнитной аномалии» F2 слоя ионосферы в основном развивались в трех направлениях:

1) Митра [3] предполагал, что из-за поглощения ультрафиолетового излучения Солнца на высотах 600-1200 км. над магнитным экватором образуются электроны и ионы. На этих высотах частота соударений очень мала, и электроны и ионы имеют большие длины свободных пробегов. Учитывая, что на магнитном экваторе силовые линии круто поднимаются вверх и затем опускаются по направлению к северу и югу, ионы и электроны, образующиеся на верхней атмосфере над магнитным экватором, направляются к северу и югу. Электроны и ионы, спускаясь на более низкие уровни, попадают в атмосферу Земли и увеличивают плотность ионизации на высоте F2 слоя ионосферы, в областях с магнитным наклоном $J \sim \pm 30^\circ$.

2) Д. Мензел и Д. Бейли [4] предположили, что увеличение электронной концентрации F2 слоя ионосферы в областях с магнитным наклоном $I \sim \pm 30^\circ$ происходит вследствие перекачки электронов из экваториальной области в более высокие широты из-за дневного теплового расширения.

3) Известно, что если на заряженную частицу одновременно действуют электрическое \vec{E} и магнитное \vec{B} поля, то возникает дрейф заряженных частиц в направлении $[\vec{E} \times \vec{B}]$, перпендикулярном к этим полям. Увеличение электронной концентрации F2 слоя ионосферы в областях с магнитным наклоном $I \sim \pm 30^\circ$ Д. Мартин [5] объясняет так. В экваториальной области днем существуют магнитное и электрическое поля (направленные на восток), что обеспечивает дрейф плазмы вверх. Поднятая таким образом плазма затем диффундирует вниз вдоль силовых линий магнитного поля и вызывает накопление электронов к северу и югу от экватора – «фонтан эффект».

Количественные объяснения природы «геомагнитной аномалии» F2 слоя ионосферы, в основном развивают идею Д. Мартина. Одной из первых работ, в которой сделана попытка получить количественную оценку широтной аномалии, была работа Р. Дункана [6]. Оценка высоты, на которую должна подниматься плазма над экватором и вызывать увеличение ионизации в районах максимумов, была проведена на основании геометрических соображений. Н. Ришбет, А. Лион и Дж. Пит [7] решили уравнения баланса путем ряда упрощений при определенных задаваемых параметрах ионосферы. В дальнейшем были произведены уточнения параметров уравнения баланса, чтобы получить эффект, максимально приближающийся к экспериментальному.

В работе автора [8] было выявлено, что увеличение электронной концентрации F2 слоя ионосферы в районах с магнитным наклоном $J \sim \pm 30^\circ$ обусловлено не дополнительной ионизацией в этих районах, а только лишь ее аномальным уменьшением в экваториальной области. Целью настоящей работы является - на основе комплексного анализа данных: критических частот f_{min} , $f_0 E$, $f_0 F1$ и $f_0 F2$ мировой сети ионосферных станций, X – составляющей геомагнитного поля приэкваториальных магнитных обсерваторий (охватывающих $\varphi = 30^\circ$ северную и южную широты) и результатов, проведенных экспериментальных исследований околослозного космического пространства, детально изучить «геомагнитную аномалию» F2 слоя ионосферы для окончательного завершения, и наметить пути его дальнейшего исследования.

Исследуемый экспериментальный материал (за 1962 год) был приобретен по интернету из Мирового центра геофизических данных г. Москвы [9].

Необходимо отметить, что при рассмотрении физических процессов в ионосфере, необходимо знать максимум электронной концентрации в пределах слоя. Для характеристики ионосферных слоев автор пользовался медианными значениями критических частот (f_0 в МГц-ах).

Электронную концентрацию в пределах слоя можно определить простой зависимостью:

$$N = 1,24 \cdot 10^4 f_0^2$$

где N – максимальное число свободных электронов в см^3 , а f_0 – измеренная критическая частота в МГц-ах.

Для выяснения характера планетарной зависимости изменения критических частот f_0F_2 от магнитного наклонения, все станции были объединены в отдельные группы северного и южного полушария, с магнитными наклонениями: $0^\circ - \pm(0^\circ \div 4.9^\circ)$, $\pm 10^\circ - \pm(5^\circ \div 14.9^\circ)$, $\pm 20^\circ - \pm(15^\circ \div 24.9^\circ)$, $\pm 30^\circ - \pm(25^\circ \div 34.9^\circ)$, $\pm 40^\circ - \pm(35^\circ \div 44.9^\circ)$, $\pm 50^\circ - \pm(45^\circ \div 54.9^\circ)$, $\pm 60^\circ - \pm(55^\circ \div 64.9^\circ)$, $\pm 70^\circ - \pm(65^\circ \div 74.9^\circ)$, $\pm 80^\circ - \pm(75^\circ \div 84.9^\circ)$, $\pm 90^\circ - \pm(85^\circ \div 90^\circ)$.

Осреднение данных проводилось отдельно для зимнего (январь, февраль, ноябрь, декабрь), равноденственного (март, апрель, сентябрь, октябрь), летнего (май, июнь, июль, август) и среднегодового периодов. На рис. 2 приводится планетарное распределение осредненных значений критических частот F_2 – слоя ионосферы в зависимости от магнитного наклонения, за каждый час суток.

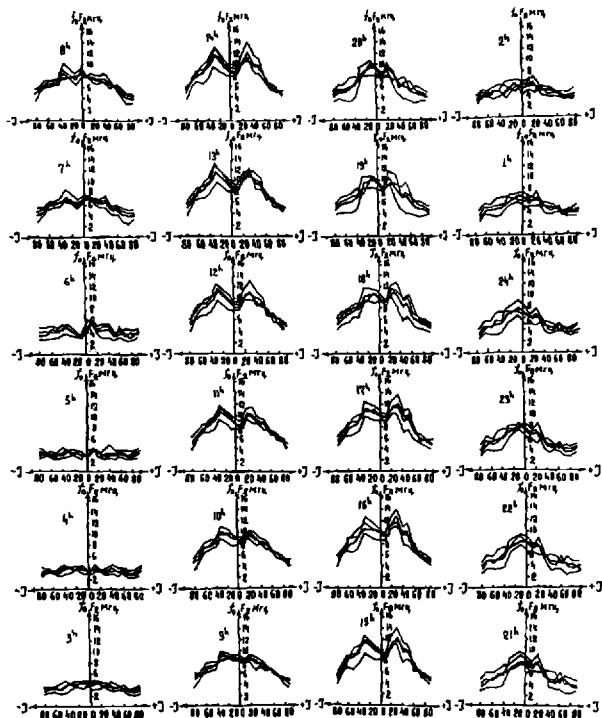


Рис. 2 Широтные распределения критических частот F_2 слоя ионосферы от магнитного наклонения, за каждый час суток (осредненные значения для периодов – равноденственного, зимнего, летнего и среднегодового).

Из представленных на рис. 2 кривых видно, что «экваториальная аномалия» наблюдается для всех сезонов, однако могут меняться величины максимумов северного и южного полушарий и глубина экваториального провала. Равноденственное и среднегодовое распределение f_0F_2 в обоих

полушариях симметрично относительно экватора (исключаются эффекты, обусловленные наклоном северной и южной полярных областей к Солнцу). Распределение f_0F_2 с двумя максимумами примерно на $\pm 30^\circ$ магнитной широты и минимумом на экваторе, имеет место только между 10 и 20 час. местного времени. С 21 часа меняется форма кривой, она переходит в распределение с одним максимумом в экваториальной области и продолжается до 3 часов. С 3 до 6 часов наблюдается почти постоянное значение критических частот во всем широтном разрезе. От 7 до 9 часов вновь наблюдается распределение с одним максимумом в экваториальной области. Для исследования геомагнитного эффекта слоя F2 ионосферы, прежде всего, необходимо из результатов наблюдений исключить искажающий эффект, обусловленный сезонными вариациями. Последнее можно осуществить, если за исходные данные применить среднегодовые значения. Действительно, учитывая, что зенитный угол Солнца χ выражается формулой:

$$\cos \chi = \sin \delta \cos \theta + \cos \delta \sin \theta \cos \tau$$

при использовании среднегодовых значений $\delta=0$, то $\cos \chi = \sin \theta \cos \tau = \sin(90^\circ - \varphi) \cos \tau = \cos \varphi \cos \tau$. Для полудня $\tau=0$ зенитный угол Солнца χ с географической широтой места φ связан простым соотношением $\varphi = \chi$.

На рис. 3 приводятся среднегодовые зависимости критических частот f_0F_2 от магнитного наклоения для различных часов суток (время местное), сгруппированные по характеру изменения формы кривой.

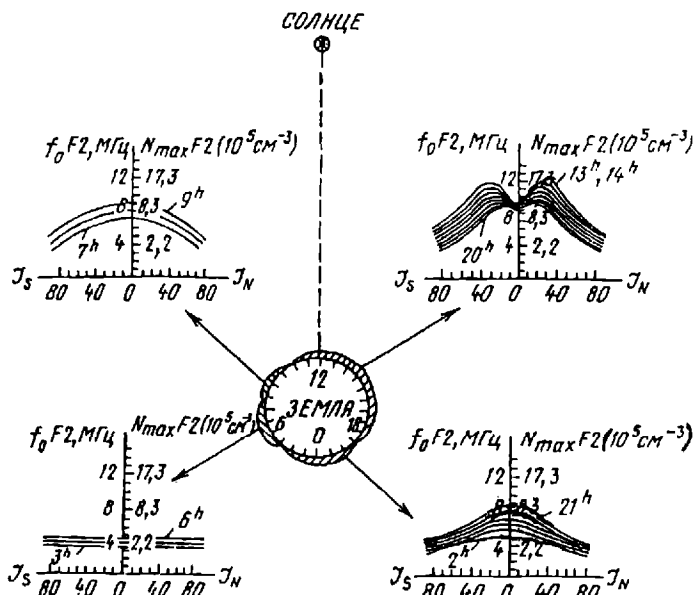


Рис. 3. Среднегодовые зависимости критических частот F2 слоя ионосферы от магнитного наклоения для разных часов суток (время местное), сгруппированные по характеру изменения формы кривой.

Из представленных на рис. 3 кривых видно, что на экваторе с 10 часов до 20 часов местного времени электронная концентрация остается почти неизменной, несмотря на то, что с увеличением зенитного угла Солнца должно наблюдаться ее увеличение. Следовательно, можно предположить, что естественное увеличение электронной концентрации вблизи экватора вуалируется каким-то физическим процессом обратного направления. Вероятнее всего допустить, что причиной понижения электронной концентрации в экваториальной области является электромагнитный дрейф. Проведем

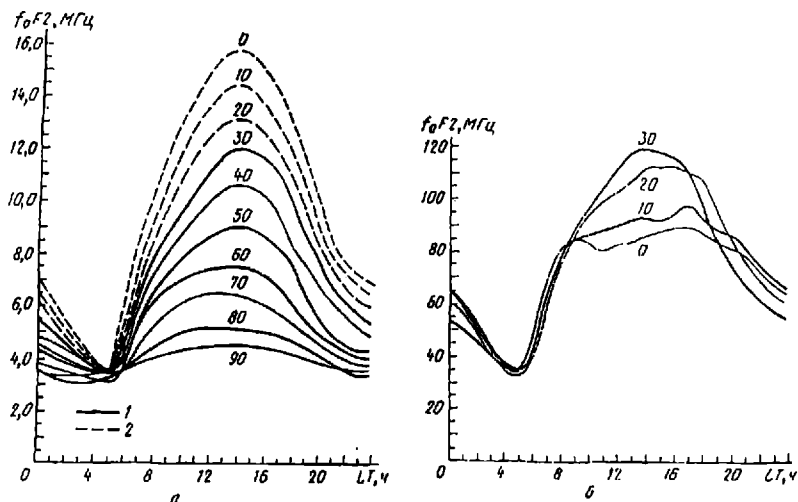


Рис. 4 Среднегодовые солнечно-суточные вариации критических частот F2 слоя ионосферы для разных значений магнитного наклоения: 4а – от 90° до 0°; 4б – от 30° до 0°. Сплошные кривые соответствуют экспериментальным данным, штриховые – экстраполированным от 20° до 0° магнитного наклоения (метод экстраполяции приводится в тексте).

Из представленных на рис. 4а кривых можно сделать вывод, что среднегодовые солнечно-суточные вариации критических частот F2 слоя ионосферы от 90° до 30° магнитного наклоения имеют ярко выраженную суточную волну, мало искаженную гармониками высших порядков. Следовательно, изменения солнечно-суточных вариаций критических частот $f_0 F_2$ в диапазоне 30° - 90° можно аппроксимировать формулой:

$$f_0 F_2 = a_0 + A \cos \omega t = a_0 + A \cos \frac{2\pi}{T} t \quad (1)$$

где $\omega = 0.73 \cdot 10^{-4} \text{ сек.}^{-1}$ – угловая скорость вращения Земли, $T = 24 \text{ час.}$, $t = 0$ соответствует «полудню» (12^h – 13^h L T), a_0 – свободный член, показывающий средний уровень, A – амплитуда солнечно-суточной волны. Как a_0 , так и A зависит от магнитного наклоения.

Ниже 30° магнитного наклоения (рис. 4б) суточные вариации критических частот $f_0 F_2$, вместо простой зависимости $k \cos \omega t$, имеют значительные провисания в полуденных часах, и вместо увеличения амплитуды, с увеличением зенитного угла Солнца наблюдаются уменьшения.

На рис. 5. приводятся изменения среднего уровня a_0 , амплитуды солнечно-суточных вариаций A и относительных амплитуд A/a_0 – критических частот, $f_0 F_2$ от магнитного наклоения.

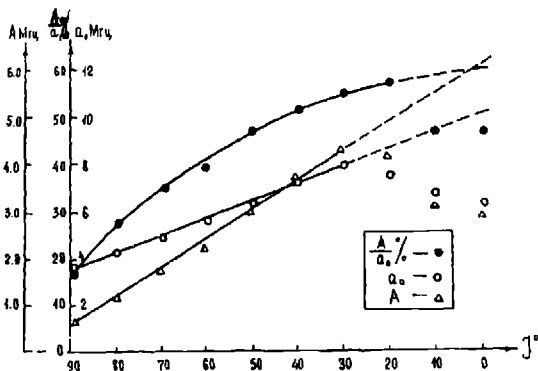


Рис. 5. Зависимость амплитуды солнечно-суточных вариаций (A), среднего уровня (a_0) и относительных амплитуд (A/a_0 %) критических частот F2 слоя ионосферы в функции от магнитного наклонения.

Из представленных на рис. 5 кривых можно сделать вывод, что увеличение максимальной электронной концентрации F2 слоя ионосферы в областях с магнитными наклонениями $1 \sim \pm 30^\circ$ - кажущееся. Здесь, естественно предположить, что мы имеем не увеличение электронной концентрации в приэкваториальной зоне ($1 \approx 30^\circ$), а лишь уменьшение последней в экваториальной области.

Вышеизложенный вывод безусловно подтверждает уникальный экспериментальный материал, полученный в работе Г. Лопатиной, Я. Фельдштейн [10]. Оказалось, что в отдельных случаях, во время больших и очень больших геомагнитных бурь, отмечено исчезновение экваториального минимума $f_0 F2$. В качестве примера на рис. 6 приводятся изменения критических частот $f_0 F2$ (в МГц) с геомагнитной широтой (φ_m) для меридиана $\lambda = 0^\circ$ в местный полдень. Кривая - «а» построена по медианным значениям для магнитно-спокойных дней сентября 1958 года, а кривая «б» - для магнитно-возмущенного дня 5 сентября 1958 года, когда отмечено исчезновение экваториального минимума $f_0 F2$.

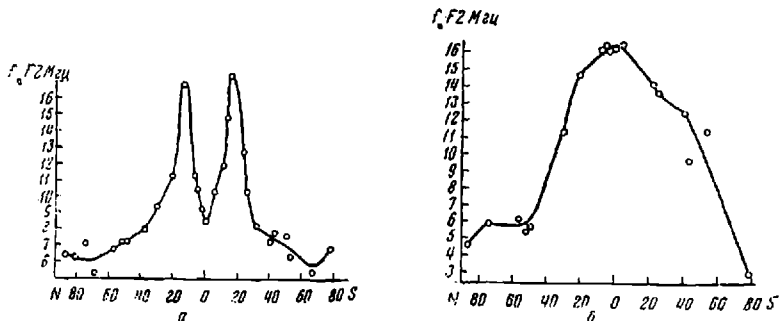


Рис.6 Изменения критических частот $f_0 F2$ с геомагнитной широтой (φ_m) для меридиана $\lambda = 0^\circ$ в местный полдень [10]. Кривая «а» построена по медианным значениям для магнитно-спокойных дней сентября 1958 года, а кривая «б» - для магнитно-возмущенного дня 5 сентября 1958 года.

Из представленных на рис. 6 кривых можно сделать следующие выводы:

1) Увеличения критических частот F2 слоя ионосферы - $f_0 F2$ в районах $15^\circ-20^\circ$ северной и южной широты ($I \approx 30^\circ$) – кажущееся и обусловлено не дополнительной ионизацией в этих районах, а только лишь ее аномальным уменьшением в экваториальной области (необходимо отметить, что авторами работы [10] исследования в этом аспекте не проводились);

2) На экваторе в полдень величина критической частоты $f_0 F2 = 16.6$ МГц (рис. 6б), а по проведенной нами экстраполяции (рис. 4а кривая $I=0^\circ$) $f_0 F2=16.2$ МГц видно, что согласие вполне хорошее.

Если в приэкваториальной зоне дневные и вечерние значения электронной концентрации не достигают максимума, то можно ее восстановить на основе экстраполяции кривых (рис. 5) и рассчитать ожидаемые солнечно-суточные вариации критических частот от 30° до 0° магнитного наклона, что и приведено на рис. 4а штриховыми кривыми.

Сопоставляя наблюдаемые солнечно-суточные вариации критических частот $f_0 F2$ со значениями, которые следовало бы ожидать, если бы не было уменьшения в экваториальной области, можно было бы рассчитать глубину провала. На рис. 7 приводятся зависимости глубины экваториального провала критических частот F2 слоя ионосферы $f_0 F2$ от магнитного наклона для разных часов суток местного времени.

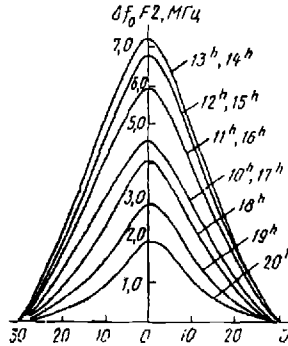


Рис. 7. Зависимости глубины экваториального провала критических частот F2 слоя ионосферы от магнитного наклона, для разных часов суток местного времени.

Зависимость глубины экваториального провала критических частот F2 слоя ионосферы ($\Delta f_0 F2$) от магнитного наклона (I°), для разных часов (t) суток ($\omega=0,73 \cdot 10^{-4}$ сек $^{-1}$), можно выразить эмпирической формулой:

$$\Delta f_0 F2 = (2 + 5.2 \cos \omega t) \exp(-8.8 \text{tg}^2 I) \text{ МГц} \quad (2)$$

Вышеуказанные экспериментальные факты наводят на логический вывод, что динамическую картину изменения зависимости электронной концентрации F2 – слоя ионосферы от магнитного наклона для разных часов суток по местному времени, можно аппроксимировать следующей эмпирической формулой:

$$N_e = A(t) + B(t) \exp(-a(t) \text{tg}^2 I) - C(t) \exp(-\beta(t) \text{tg}^2 I) \text{ эл. см}^{-3} \quad (3)$$

На рис. 8 приводятся изменения A, B и C коэффициентов со временем, которые получены на основе экспериментальных данных.

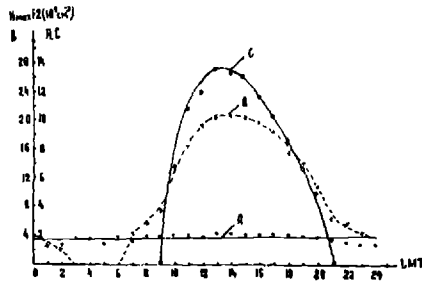


Рис. 8. Изменения А, В и С коэффициентов эмпирической формулы (3) со временем.

Следовательно, эти коэффициенты можно представить так:

$$\begin{aligned} A(t) &\approx \text{const} = 2.0 \cdot 10^5 \text{ эл. см}^{-3}; \\ B(t) &= B_0 + B_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \varphi_0\right); \end{aligned} \quad (4)$$

$$C(t) = C_0 + C_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T} t_1 - \varphi_0\right);$$

где

$$\begin{aligned} B_0 &= 10.2 \cdot 10^5 \text{ эл. см}^{-3}, \quad a(t) \approx \text{const} = 0.5, \quad \beta(t) \approx \text{const} = 8.0, \\ B_1 &= 10.2 \cdot 10^5 \text{ эл. см}^{-3}, \quad \varphi = 120^\circ, \quad T = 24, \\ C_0 &= 13.5 \cdot 10^5 \text{ эл. см}^{-3}, \quad t = \{1, 2, \dots, 24\}, \quad t_1 = \{9, 10, \dots, 21\} \end{aligned}$$

На рис. 9 приводятся экспериментальные (точки) и рассчитанные эмпирической формулой 3 (кружки) кривые распределения электронной концентрации F2 – слоя ионосферы в зависимости от магнитного наклона за 8, 10, 13 и 21 час по местному времени.

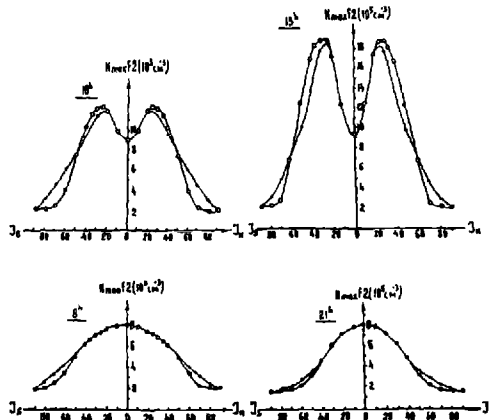


Рис. 9. Распределения электронной концентрации F2 слоя ионосферы в зависимости от магнитного наклона за 8, 10, 13 и 21 час по местному времени. Кривые с кружками – рассчитаны эмпирической формулой 3, а кривые с точками соответствуют экспериментальным данным.

Из анализа кривых рис.9 следует, что предлагаемую эмпирическую формулу (3) вполне можно использовать при моделировании картин планетарного распределения зависимости электронной

концентрации F2 слоя ионосферы от магнитного склонения, для разных часов суток по местному времени.

На рис. 10 для 12 час. по местному времени приводятся рассчитанные кривые, соответствующие – первому (1), второму (2) и третьему (3) членам эмпирической формулы (3), а 4 – суммарная кривая.

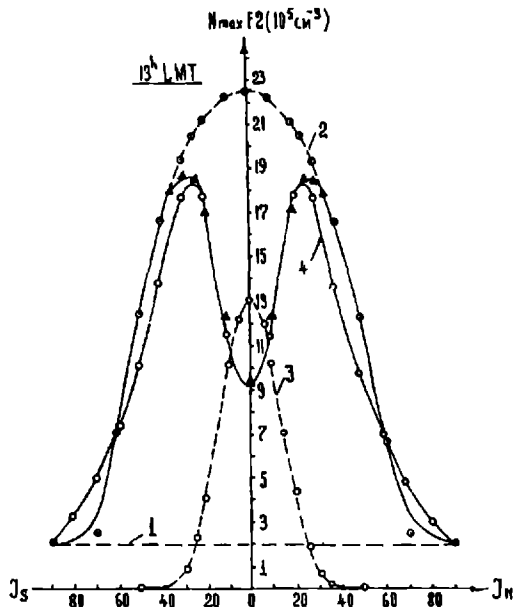


Рис. 10. Изменения членов эмпирической формулы (3) в функции от магнитного склонения для 12-го часа местного времени. 4-суммарная кривая, а кривые 1, 2, 3 соответствуют первому (1), второму (2) и третьему (3) членам эмпирической формулы (3).

Члены эмпирической формулы (3) имеют следующий физический смысл:

1) первый член обусловлен остаточной ионизацией и вторжением в ионосферу агента корпускулярной природы;

2) второй член отражает воздействие коротковолнового излучения Солнца (учитывается теория «простого слоя Чепмена»);

3) третий член вносит основной вклад в формирование «экваториальной аномалии» и характеризует долю уменьшения электронной концентрации в экваториальной области (обусловлено электромагнитным дрейфом электронов от высоты F2 слоя ионосферы вверх).

На рис. 11 приведены экспериментальные (а) и экстраполированные (б, исключая «геомагнитную аномалию») карты планетарного распределения равных значений (изолиний) критических частот f_oF2 для эпохи 1962 г. По оси абсцисс отложено местное время, а по оси ординат – магнитное склонение. Числа на изолиниях обозначают величину критических частот в МГц-ах.

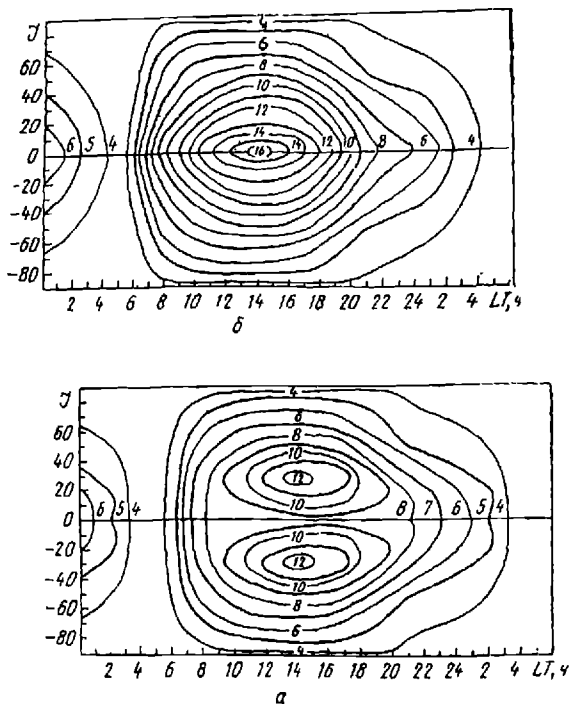


Рис. 11. Карты планетарного распределения равных значений критических частот F2 слоя ионосферы ($f_0 F_2$), для эпохи 1962 г., «а» - экспериментальная, а «б» - экстраполированная (исключена «геомагнитная аномалия»). По оси абсцисс отложено местное время, по оси ординат - магнитное наклонение, а числа на изолиниях обозначают величину критических частот в МГц-ах.

Планетарное распределение критических частот $f_0 F_2$ от координат местного времени и магнитного наклонения в компактной форме иллюстрирует экваториальную аномалию (рис. 11а). Экстраполированную контурную карту распределения линий равных значений критических частот $f_0 F_2$ (рис. 11б) можно сопоставить с теоретической картой, полученной на основе «простого слоя Чепмена», а для исследования экваториальной аномалии использовать в качестве начального условия.

Если уменьшение электронной концентрации в экваториальной области можно объяснить утечкой электронов вследствие электромагнитного дрейфа, то необходимо исследовать состояние ионосферы выше и ниже F2 слоя. С этой целью анализируемый нами экспериментальный материал был сопоставлен с картиной планетарного распределения электронной концентрации во всей толще ионосферы от 160 до 760 км, полученной как из наземных данных [11], так и из спутниковых материалов [12].

На рис. 12 приводятся кривые планетарного распределения электронной концентрации (N) во всей толще ионосферы: 12а - значения N ниже максимума F2 слоя (от высоты от 160 км до 360 км) являются полуденными медианными значениями для сентября 1957г. [11]; 12б - значения N над максимумом F2 слоя ионосферы (от высоты от 560 км до 760 км), по данным спутника Алуэрт-1, зарегистрированным в Сингапуре вблизи полудня 1 октября 1961 года [12].

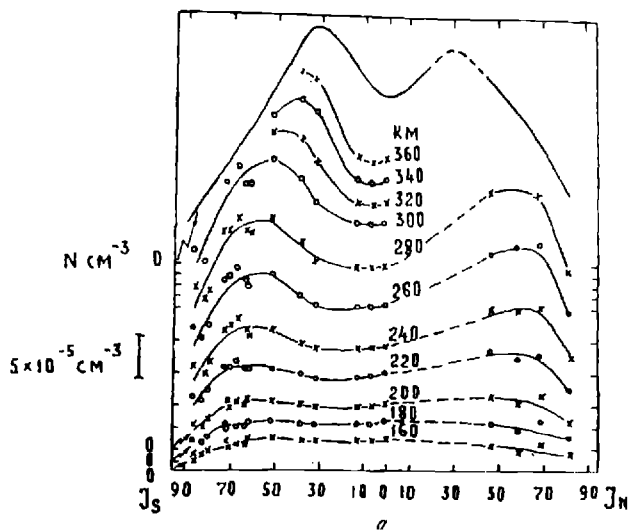
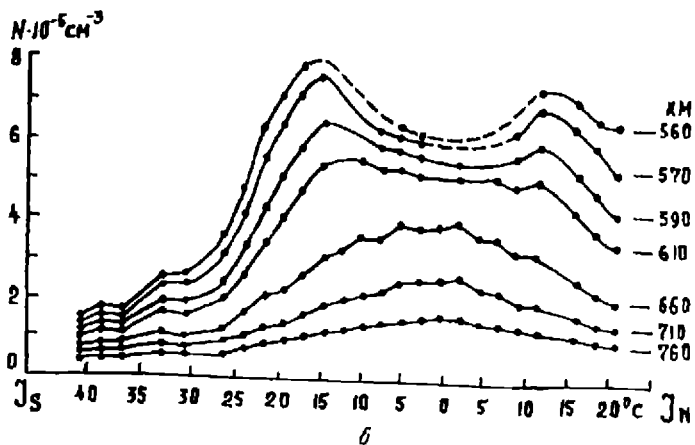


Рис. 12. Зависимость электронной концентрации от магнитного наклонения, для фиксированных высот ниже (а) и над максимумами (б) F2 слоя ионосферы.

Сравнение кривых, рис. 1 и рис. 12 показывает, что экваториальная аномалия впервые появляется на высоте порядка 200 км, при углах наклонения около 60° , и по мере увеличения высоты эти максимумы постепенно сдвигаются к магнитному экватору, уменьшается расстояние между максимумами, пока на высоте 660 км не образуется один экваториальный максимум. Экваториальный максимум на высоте 700 км характеризуется повышенной электронной концентрацией по сравнению с тем, которое следовало бы ожидать из теории диффузионного равновесия [13].

Из вышеизложенных экспериментальных фактов непосредственно следует, что днем из экваториальной области ионосферы, из-за электромагнитного дрейфа, происходит интенсивная утечка электронов с высоты F2 слоя вверх. Учитывая, что на этих высотах частота соударений очень

мала, то электроны и ионы имеют большие длины свободных пробегов и вполне могут поставляться из области F2 слоя ионосферы в плазмосферу. Таким образом, можно предположить, что происходит "перекачка" ионосферной плазмы из F2 слоя ионосферы в плазмосферу. Вышеприведенный вывод, по-видимому, подтверждает эксперимент, проведенный в США под названием «Аргус» [14], в котором было показано, что атомные взрывы в атмосфере (на высоте 480 км) могут поставять частицы в магнитную ловушку (искусственный радиационный пояс в удалении от Земли на расстоянии 6500 км).

Если в экваториальной зоне имеет место интенсивный электромагнитный дрейф электронов от высот максимума F2 слоя ионосферы вверх, то должен возникать ток. Ток должен генерировать магнитное поле, которое должно отразиться в геомагнитных наблюдениях в экваториальной области (30°N-30°S). Возникает вопрос – не связана ли доля уменьшения электронной концентрации в экваториальной области [третий член эмпирической формулы (3)] с аномально большой величиной амплитуды солнечно-суточных вариаций геомагнитного поля вблизи магнитного экватора? Для выяснения этого вопроса из графиков, приведенных в работе Н. Бенковой и М. Фаткулин [15], были отсчитаны амплитуды солнечно-суточных вариаций X – составляющей магнитного поля Земли S_{qx} , по средним и низкоширотным станциям. На рис 13 приводятся зависимости амплитуд S_{qx} от географической широты (φ), геомагнитной широты (Φ) и магнитного наклонения (I).

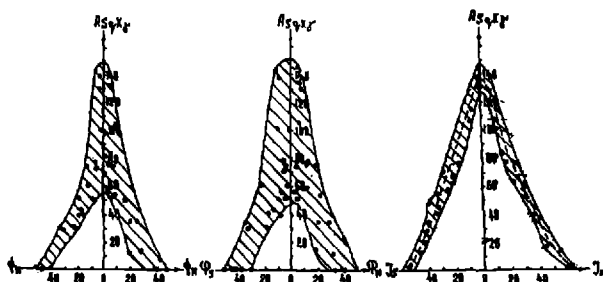


Рис.13. Зависимости амплитуды солнечно-суточных вариаций X – составляющей геомагнитного поля S_{qx} от географической широты (φ), геомагнитной широты (Φ) и магнитного наклонения (I).

Из представленных на рис. 13 кривых видно, что распределение амплитуды S_{qx} от магнитного наклонения дало более упорядоченную картину, чем от географической и геомагнитной широт. Таким образом, как распределение максимальной электронной концентрации слоя F2 ионосферы, так и распределение амплитуды солнечно-суточных вариаций X – составляющей магнитного поля Земли, лучше контролируется магнитным полем Земли.

На рис. 14 приводятся сравнения, зависимости между амплитудой солнечно-суточной вариации S_{qx} и доли дрейфа электронной концентрации в экваториальной области ΔN_{max} от магнитного наклонения (а), и дается связь между ними (б)..

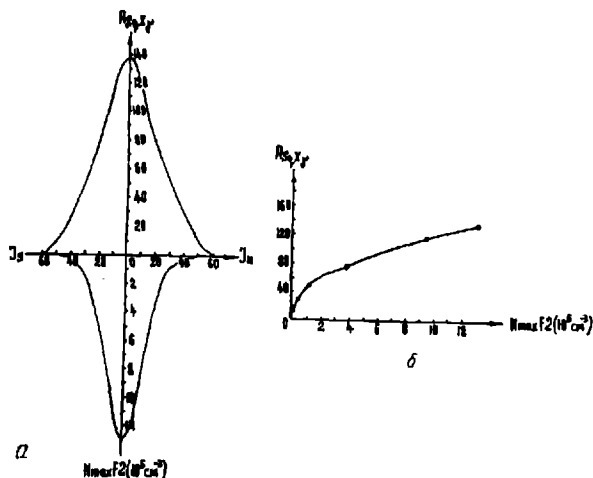


Рис.14. Зависимость амплитуды солнечно-суточных вариаций X – составляющей геомагнитного поля ($A_{Sq,x}$) и доли уменьшения электронной концентрации F2 слоя ионосферы в экваториальной области ($N_{max,F2}$) от магнитного inclination (а) и связь между $A_{Sq,x}$ и $N_{max,F2}$ (б).

Кривые, приведенные на рис. 14 показывают, что между уменьшением электронной концентрации в экваториальной области (ΔN_{max}) и амплитудой солнечно-суточной вариации $S_{q,x}$ наблюдается определенная корреляционная связь.

Если корреляционная связь между «экваториальной аномалией» F2 слоя ионосферы (ΔN_{max}) и «токами экваториальной электроструи» $A_{Sq,x}$ достоверна, то между вышеуказанными явлениями должны наблюдаться синхронные изменения за длительный промежуток времени. Данная ионосферно-геомагнитная связь требует дальнейших тщательных исследований за длительный промежуток времени.

Основные результаты, проведенных автором исследований геомагнитной аномалии широтного распределения электронной концентрации F2 слоя ионосферы, сводятся к следующему:

1. Установлено, что увеличение электронной концентрации в районах с магнитным наклоном $I \approx 30^\circ$ северной и южной широты кажущееся и обусловлено не дополнительной ионизацией в этих районах, а только лишь ее аномальным уменьшением в экваториальной области.

2. Показано, что «геомагнитную аномалию» широтного распределения электронной концентрации F2 слоя ионосферы можно объяснить не «фонтан эффектом» (что считается общепризнанным), а явлением перекачки электронов из экваториальной области F2 слоя ионосферы вверх в плазмосферу, вследствие электромагнитного дрейфа.

3. В связи с тем, что экспериментальные данные широтного распределения электронной концентрации F2 слоя ионосферы интерпретировались ошибочно, существующие в настоящее время теории, в которых даются попытки объяснить «геомагнитную аномалию» «фонтан эффектом», должны быть заменены явлением «перекачки» электронов из экваториальной области F2 слоя ионосферы вверх в плазмосферу.

4. Предложена эмпирическая формула, описывающая динамическую картину распределения электронной концентрации F2 слоя ионосферы в зависимости от магнитного inclination для каждого часа суток (время местное LT):

$$N_e(\text{эл. с м}^{-3}) = A(t) + B(t)\exp(-0.5\text{tg}^2 I) - C(t)\exp(-8.0 \text{tg}^2 I)$$

Изменения A, B, C коэффициентов во времени (t) приводятся в виде формул и графиков.

Члены эмпирической формулы имеют следующий физический смысл:

а) первый член – обусловлен остаточной ионизацией и вторжением в ионосферу агента корпускулярной природы;

б) второй член – отражает воздействие коротковолнового излучения Солнца (учитывается теория «простого слоя Чепмена»);

в) третий член – вносит основной вклад в формирование «геомагнитной аномалии» и характеризует электромагнитный дрейф электронов от высоты F2 слоя ионосферы вверх в плазмосферу;

5. показано, что предлагаемую эмпирическую формулу вполне можно использовать при моделировании картины планетарного распределения зависимости электронной концентрации F2 слоя ионосферы от магнитного наклонения для каждого часа суток местного времени;

6. для эпохи 1962 года, в системе координат местного времени (LT) и магнитного наклонения (I), построены экспериментальные и экстраполированные (исключая «геомагнитную аномалию») карты планетарного распределения – равных значений (изолиний) критических частот f_oF_2 (в МГц-ах). Экстраполированную контурную карту изолиний критических частот f_oF_2 можно сопоставить с теоретической картой, полученной на основе «простого слоя Чепмена», а для исследования «геомагнитной аномалии» - использовать ее в качестве начального условия.

7. В экваториальной области (с магнитным наклонением $\sim 30^\circ$ северной и южной широты), выявлена корреляционная связь между уменьшением электронной концентрации ($\Delta N_e F_2$ – третий член полученной автором эмпирической формулы, который характеризует интенсивную утечку электронов вследствие электромагнитного дрейфа) и амплитудами солнечно-суточной вариации X составляющей магнитного поля Земли. Данная ионосферно-геомагнитная связь требует дальнейших тщательных исследований за длительный промежуток времени.

Литература

1. Chapman S., Bartles J. *Geomagnetism*, Oxford University Press. 1951. PP. 504-518.
2. Appleton E.V. Two Anomalies in the Ionosphere. *J. Nature*. London. The Gainsborough Press. 1946. Vol. 157. PP.691.
3. Mitra S.K. Geomagnetic control of region F2 on the ionosphere *J.Nature*. London. The Gainsborough Press. 1946. Vol 158. PP.668.
4. Menzel D.H., Bailey D.K. Relations entre les Phenomenes Solaires at Geophysiques. *Colloques Internationaux*. Lyon. 1947.
5. Martin D.F. *The Physics of the Ionosphere*. London. 1954. PP.259.
6. Duncan R.A. The equatorial F-region of the ionosphere. *J. Atmospheric and Terrestrial Physics*. London. Pergamon Press. 1960. Vol 18. PP. 89-100.
7. Rishbeth H., Lyon A.J., Peart J. The geomagnetic anomaly in the equatorial F. region. *J. Geophys. Res*. 1963. Vol.68, N9. PP. 2559-2566.
8. Чхетия А.М. О широтном распространении максимальной электронной концентрации F-слоя ионосферы. *Ионосферные исследования Москва*, изд-во Советское радио. 1979. №29. С. 43-47.
9. Russia. Moscow. Center of Geophysical Data (from internet – <http://reus.wdcb.ru/spidr>).
10. Лопатина Г.Б., Фельдшайн Я.И. – Геомагнитный эффект слоя F2 ионосферы. *Ионосферные исследования*. Москва. Изд-во АН СССРю 1961. N6. С.29-34.
11. Croom S.A., Robbins A.R., Thomas J.O. *J. Nature*. London . The Gainsborough Press. 1959. Vol. 184. PP.2003.
12. King J.W. *J Nature*. London . The Gainsborough Press. 1963. Vol. 197. PP.639.
13. Rothwell P., Sayers J., Wager J. *J Nature*. London . The Gainsborough Press 1963. Vol 198. PP.230.

14. Ван Аллен Дж. А, Мак-Илвейн К.Е., Людвиг Г.Х. «Операция Аргус». Материалы симпозиума по результатам научных наблюдений за эффектами искусственной радиации на больших высотах. Москва, «Атомиздат». 1960. С. 19-21.

15. Бенкова Н.П., Фаткулин М.И. Токи в невозмущенной ионосфере и их геофизический эффект. Ионосферные исследования. Москва, «Наука». 1970. №19. С. 136-174.

იონოსფეროს F2 შენის ელემენტარული კონცენტრაციის განაწილების "გეომაგნიტური ანომალია"

ჩხეტია ა.

რეზიუმე

მსოფლიო ქსელის იონოსფერული სადგურების კრიტიკული სიხშირეების - f_{min} , f_oF_1 , f_oF_2 , დედამიწის ეკვატორთან ახლომდებარე გეომაგნიტური ობსერვატორიების (რომლებიც მოიცავენ ჩრდილოეთისა და სამხრეთის განედებს - $\pm 30^\circ$ -ს) დედამიწის მაგნიტური ველის X მდგენელისა და დედამიწის ახლომდებარე კოსმოსურ სივრცეში განხორციელებული ექსპერიმენტების კვლევის შედეგების, ერთობლივმა კომპლექსურმა ანალიზმა, აქტორის საშუალება მისცა გამოეტანა შემდეგი დასკვნები:

1. დადგენილ იქნა, რომ იონოსფეროს F2 ფენის ელემენტარული კონცენტრაციის მომატება $\varphi \pm 30^\circ$ არეებში მოჩვენებითა და განპირობებულია არა დამატებითი იონიზაციით ამ რაიონებში, არამედ ეკვატორულ არეში ელემენტარული კონცენტრაციის მხოლოდ ანომალური შემცირებით.

2. ნაჩვენებია, რომ იონოსფეროს F2 ფენის "გეომაგნიტური ანომალია" შეიძლება აიხსნას არა "ფანტან ეფექტით" (როგორც მიღებულია), არამედ ელემენტარული დრეივის შედეგად იონოსფეროს ეკვატორიალური არიდან ელემენტარების გადაქაჩვით, F2 ფენიდან მაღლა პლაზმოსფეროში.

3. რადგან იონოსფეროს F2 ფენის "გეომაგნიტური ანომალიის" ეფექტის (ექსპერიმენტალური მასალის) ინტერპრეტაცია არასწორად ხდებოდა, ლოკური, არსებული თეორიები, რომლებიც გეომაგნიტური ანომალიის ეფექტს ხსნიან "ფანტან ეფექტით" შეცვლილ უნდა იქნას იონოსფეროს F2 ფენიდან მაღლა პლაზმოსფეროში ელემენტარების გადაქაჩვით.

«ГЕОМАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ» ШИРОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ F2 СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ

Чхетия А.М.

Реферат

Комплексный анализ данных: критических частот f_{min} , f_oF_1 , f_oF_2 Мировой сети ионосферных станций, X – составляющей геомагнитного поля приэкваториальных магнитных обсерваторий (охватывающих $\pm 30^\circ$ северную и южную широты) и результатов, проведенных экспериментальных исследований околоземного космического пространства, позволили автору сделать следующие выводы:

1. Установлено, что увеличение электронной концентрации в районах с магнитным наклоном $I \approx 30^\circ$ северной и южной широты кажущееся и обусловлено не дополнительной ионизацией в этих районах, а только лишь ее аномальным уменьшением в экваториальной области.

2. Показано, что «геомагнитную аномалию» широтного распределения электронной концентрации F2 слоя ионосферы можно объяснить не «фонтан эффектом» (что считается общепринятым), а явлением перекачки электронов из экваториальной области F2 слоя ионосферы вверх в плазмосферу, вследствие электромагнитного дрейфа.

3. В связи с тем, что экспериментальные данные широтного распределения электронной концентрации F2 слоя ионосферы интерпретировались ошибочно, существующие в настоящее время теории, в которых даются попытки объяснить «геомагнитную аномалию» «фонтан эффектом», должны быть заменены явлением «перекачки» электронов из экваториальной области F2 слоя ионосферы вверх в плазмасферу.

“GEOMAGNETIC ANOMALY” OF LATITUDINAL DISTRIBUTION OF ELECTRON CONCENTRATION IN F2 REGION OF THE IONOSPHERE

Chkhetia A.

Abstract

Complex analysis of data of critical frequencies f_{min} , f_oE , f_oF1 , f_oF2 of World net of ionospheric observation stations, X component of geomagnetic field of equatorial magnetic observatories (enveloping $I \approx 30^\circ$ North and South latitudes), results of experimental investigations of near-earth cosmic space allowed us to conclude the following:

1. it is determined that increase of electron concentration in regions with magnetic dip in latitude $I \approx 30^\circ$ North and South is not conditioned by additional ionization in these regions, but by its anomalous decrease in equatorial area;

2. it is shown that “geomagnetic anomaly” of latitudinal distribution of electron conservation in F2 region of the ionosphere can be explained not by “fountain effect” (which is generally accepted), but by phenomenon of electron transfer from equatorial area of F2 region of the ionosphere upwards into the plasmasphere as the result of electromagnetic drift;

3. in view of the fact that experimental data of latitudinal distribution of electron concentration in F2 region of the ionosphere have been interpreted erroneously, existed today theories, attempting to explain “geomagnetic anomaly” by “fountain effect”, should be replaced by phenomenon of electron transfer from equatorial area of F2 region of the ionosphere to plasmasphere.