

---

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ  
ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR  
SOVIET GEOPHYSICAL COMMITTEE

---



МАТЕРИАЛЫ МИРОВОГО ЦЕНТРА ДАННЫХ Б

# ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИОНОСФЕРЫ

Низкая и средняя солнечная активность

МОСКВА 1978

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ  
ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР

МАТЕРИАЛЫ МИРОВОГО ЦЕНТРА ДАННЫХ Б

В.М. ПОЛЯКОВ, В.Е. СУХОДОЛЬСКАЯ,  
М.К. ИВЕЛЬСКАЯ, Г.В. ШАПРАНОВА

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИОНОСФЕРЫ

Низкая и средняя  
солнечная активность

*Отсканировал и преобразовал в DjVu*

*Александр Богомаз*

*albom85@yandex.ru      <http://albom85.narod.ru>*

Москва 1978

SOVIET GEOPHYSICAL COMMITTEE OF THE ACADEMY OF  
SCIENCES OF THE USSR

MATERIALS OF THE WORLD DATA CENTER B

V.M.POLYAKOV, V.E.SUKHODOLSKAYA  
M.K.IVELSKAYA, G.V.SHAPRANOVA

SEMIEMPIRICAL MODEL OF IONOSPHERE

Low and middle  
solar activity

## А Н Н О Т А Ц И Я

### Полуэмпирическая модель ионосферы

В.М.Поляков, В.Е.Суходольская,  
М.К.Ивельская, Г.В.Шапранова

Работа посвящена описанию полуэмпирической (гибридной) модели ионосферы, созданной в соответствии с планом Комиссии многостороннего сотрудничества Академий наук социалистических стран по комплексной проблеме "Планетарные Геофизические Исследования" (КАПГ).

Модель описывает пространственно-временные изменения ионосферных параметров в глобальном масштабе в интервале высот 100-1000 км для условий низкой и средней солнечной активности.

Результаты данной работы представляют интерес для широкого круга специалистов в области ионосферных исследований, распространения радиоволн, земного магнетизма, а также для студентов старших курсов, специализирующихся по соответствующим направлениям.

Работа выполнена в Иркутском государственном университете.

Илл. 33; табл. 18; библи. 39

Ответственный редактор  
доктор физико-математических наук  
Н.П.Бенькова

# ANNOTATION

## Semiempirical Model of Ionosphere

V.M.Polyakov, V.E. Sykhodolskaya,  
M.K.Ivelskaya, G.V.Shapranova

The paper is devoted to the description of semiempirical model of ionosphere created in accordance with plan of Committee of Multilateral Cooperation of Academy of Sciences of the Socialist Countries on complex problem "Planetary Geophysical Investigations" (CAPG).

The dynamic semiempirical model is given. The vertical sounding experimental data received from World Data Center B are used as the initial values.

Space-time changes of ionosphere in the interval of heights 100-1000 kilometers for the conditions of low and middle solar activities are described.

The results of this paper are of great interest for the specialists in the field of ionospheric researches, propagation of radiowaves, terrestrial magnetism and also for the senior students specializing in the same field.

This paper has been performed in Irkutsk State University.

Fig. 33; tables 18; litr. 39

Editor-in-chief  
doctor phys.-math. sciences

N.P. BENKOVA

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение ионосферы привело за последнее время к созданию целого ряда моделей, описывающих глобальную картину ее состояния. Такие модели должны учитывать зависимость ряда ионосферных параметров от координаты, высоты, местного времени, сезона, солнечной и геомагнитной активности.

Возможны 3 типа ионосферных моделей: детерминированные, эмпирические и полуэмпирические или гибридные. В детерминированных моделях исходят из более или менее полной схемы физических процессов, происходящих в ионосфере. Эти процессы описываются соответствующей системой уравнений, решение которой должно определять состояние ионосферы при заданных условиях. Так как даже довольно грубое описание требует решения весьма громоздких систем, то реализация таких моделей возможна только при наличии достаточно совершенной вычислительной техники.

Детерминированные модели представляют большой научный и практический интерес. Такая модель, достаточно развитая и совершенная, способна в принципе воссоздать полную картину структуры и свойств ионосферы в глобальном масштабе, если задано некоторое не слишком большое число параметров, определяющих ее состояние (интенсивность солнечного излучения и солнечного ветра, момент времени, магнитная активность и т.д.). Так как процессы в ионосфере нестационарны, то необходимо задание этих параметров не только в рассматриваемый момент, но и в течение некоторого интервала времени, предшествующего этому моменту. Такая модель имела бы очень большую ценность для выбора оптимальных условий радиосвязи, а также при запуске различного рода космических объектов. К сожалению, создание такой достаточно полной и строгой модели сопряжено с целым рядом трудностей и в настоящее время неосуществимо. Во-первых, хорошее согласование расчетов, выполненных в рамках такой модели, с действительностью требует полной адекватности модели реальным условиям. Это не удастся осуществить как из-за недостаточности нашего уровня знаний об ионосфере, так и из-за вычислительных трудностей. Ошибки вызываются самой структурой модели (пренебрежение рядом процессов, не отражаемых уравнениями) и неточными значениями используемых констант.

Особая проблема связана с применением граничных условий. Обычно задаются условием диффузионного равновесия на верхней границе. Это означает пренебрежение влиянием протоносферы, что может привести к существенным погрешностям, особенно в ночные часы. Попытки задания некоторого потока на верхней границе неизбежно связаны с произволом, так как этот поток недостаточно хорошо известен. Чтобы избежать этого, используются модели без верхних граничных условий, где уравнения рассматриваются вдоль всей магнитной силовой линии от одной сопряженной точки до другой. Этот путь является очень перспективным, но он связан с целым рядом специфических трудностей, возникающих при описании свойств весьма разряженной, сильно ионизированной плазмы.

Эмпирическая модель представляет собой результат статистической обработки экспериментальных данных. Статистическая обработка необходима, чтобы отфильтровать случайные колебания и выделить на их фоне систематические вариации. Такие модели выражают некоторое среднее состояние ионосферы и лишь весьма приблизительно соответствуют тому или иному конкретному моменту времени. Кроме того, имеющихся в настоящее время экспериментальных данных недостаточно для получения полной картины, отражающей временные и координатные вариации всех основных параметров ионосферы.

Однако даже частные эмпирические модели, дающие лишь какую-либо одну величину при определенных условиях, очень полезны. Отражая объективные природные закономерности, эти модели могут служить для контроля адекватности детерминированных моделей и для их коррекции. Во многих случаях они и сами могут быть использованы для целей практики.

В полуэмпирических (гибридных) моделях используется комбинация детерминированной модели с эмпирической. Данные расчета корректируются по эмпирической модели. При этом существенно повышается достоверность результатов. Экспериментальные данные выполняют при этом роль своеобразных реперных точек. Если расчет совпадает с экспериментом в этих точках, то можно надеяться, что и в целом модель достаточно правильно отражает состояние ионосферы.

Нами предлагается динамическая полуэмпирическая модель, в которой в качестве экспериментальных данных используются величины, допускающие статистическую обработку.

Модель описывает пространственно-временные изменения ионосферных параметров в глобальном масштабе в интервале высот, особо важном для практики (100-1000 километров). При ее построении мы руководствовались следующими соображениями:

По аналогии с метеорологией можно считать, что медианные значения ионосферных характеристик определяют "климат", а суточные - "погоду".

1) В силу различия между "климатом", "микроклиматом" и "погодными" условиями в ионосфере (медиана может отличаться от мгновенных значений на 30%), а также ограниченности исходной информации, в первую очередь должна быть создана модель, которая отражает только климатические особенности и их изменения в связи с глобальным воздействием солнечной активности на атмосферу Земли.

2) Модель должна быть предельно простой по структуре и содержать минимальное число корректируемых параметров. При этих условиях она может быть в дальнейшем взята за основу при построении региональных моделей, отражающих "микроклимат" и, при достаточно оперативном контроле, "погодные" особенности региона.

3) Отсутствие массива надежных данных о высоте экстремумов на ионосферном  $N(h)$  профиле (высоты максимумов слоев  $E$  и  $F_2$ ) не позволяет пока с достаточной точностью отразить в модели эти параметры. Поэтому приняты меры, чтобы модель легко корректировалась по высоте расположения соответствующих слоев с тем, чтобы можно было в дальнейшем без особого труда использовать новые данные по мере их получения.

4) Мы стремились к тому, чтобы в модели были возможно полнее учтены основные физические процессы, определяющие состояние ионосферы в указанном интервале высот. Кроме того, детерминированная часть модели должна была иметь такую структуру, чтобы в ней без особых переделок можно было бы в дальнейшем производить уточнения таких параметров, как модели нейтральной атмосферы, электронных и ионных температур, потоков плазмы на верхней границе, фотоактивного излучения и т.п.



Предлагаемая модель создана для условий низкой и средней солнечной активности. Она включает детерминированную часть, основанную на решении системы уравнений, описывающей основные процессы в ионосфере (§ 1). Для обеспечения лучшего согласия с экспериментом используется коррекция модели по эмпирическим значениям критических частот слоев  $E'$  и  $F_2'$  и высоты слоя  $F_2'$ . Эти значения не всегда известны для рассматриваемой точки в используемый момент времени. Поэтому модель содержит эмпирическую часть (§ 2), которая по данным мировой сети станций вертикального зондирования определяет среднее значение указанных параметров. В гибридных моделях весьма существенную роль играет выбор метода коррекции. Соответствующие вопросы описаны в § 3. Результаты, даваемые моделью и их сравнение с экспериментом приведены в § 4.

## § I. Детерминированная часть модели

Первым этапом построения модели является расчет функции ионообразования  $q$  на различных высотах. При этом применяются модель нейтральной атмосферы Яки 73 [1] и данные об интенсивности и спектральном составе солнечного излучения и сечениях ионизации и поглощения по Иванову-Холодному [2-3].

Расчет проводится согласно работе [4]. Скорость ионообразования определяется следующим образом:

$$q_j = \sum_{\lambda} \sigma_{j\lambda}^i n_j \mathcal{I}_{\lambda\infty} \exp \left\{ - \sum_{\lambda} \sigma_{j\lambda} \int_h^{\infty} n_j f(x) dh \right\}, \quad (I.1)$$

где индекс  $j$  относится к соответствующей газовой компоненте;  $n$  - концентрация;  $h$  - высота;  $\mathcal{I}_{\lambda\infty}$  - интенсивность потока ионизирующего излучения на верхней границе атмосферы на длине волны  $\lambda$ ;  $\sigma_{j\lambda}$  и  $\sigma_{j\lambda}^i$  - сечения поглощения и ионизации.  $f(x)$  - некоторая функция зенитного угла  $\chi$ , на которой мы остановимся ниже.

Общая скорость фотоионизации равна сумме скоростей ионообразования для отдельных газовых компонент

$$q = \sum_j q_j \quad (I.2)$$

Рассмотрим вид функции  $f(x)$ . Зенитный угол Солнца влияет на оптическую длину пути, который проходит луч, пока он достигнет определенного уровня. Оптический путь на заданной высоте определяется выражением:

$$\tau_{\lambda} = \sum_j \sigma_{j\lambda} \int_h^{\infty} n_j f(x) dh \quad (I.3)$$

Если не учитывать сферичность Земли, то так и в теории простого слоя

$$f(x) = \sec \chi = \frac{1}{\cos \chi}$$

Величина  $\cos \chi$  рассчитывается по известной формуле [5]

$$\cos \chi = \sin \left( \frac{\mathcal{T}}{2} - \chi \right) = \cos \varphi \cos \delta \sin \frac{\mathcal{T}}{12} t + \sin \varphi \sin \delta \quad (I.4)$$

где  $\varphi$  - широта места;  $\delta$  - солнечное склонение;  $t$  - местное время.

Для двух достаточно близких уровней  $h_1$  и  $h_2$  можно считать, что концентрация нейтральных частиц подчиняется барометрическому закону:

$$n = n_0 e^{-\frac{h}{H}}, \quad (I.5)$$

где  $H = \text{const}$ , то есть изменением температуры и состава атмосферы можно пренебречь. Тогда количество частиц в вертикальном столбе от  $h_1$  до  $h_2$  с основанием  $1 \text{ см}^2$  равно:

$$\int_{h_1}^{h_2} n dh = \int_{h_1}^{h_2} n_0 e^{-\frac{h}{H}} dh = H(n_1 - n_2). \quad (I.6)$$

Выразим  $H$  через соответствующие концентрации и высоты:

$$n_1 = n_0 e^{-\frac{h_1}{H}} \quad \text{и} \quad n_2 = n_0 e^{-\frac{h_2}{H}}$$

Находим отношение:

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{-\frac{h_1 - h_2}{H}}$$

Отсюда  $H$  равно:

$$H = \frac{h_1 - h_2}{\ln n_1 - \ln n_2}$$

Подставляя в (I.6) имеем:

$$\int_{h_1}^{h_2} n dh = (h_1 - h_2) \frac{n_1 - n_2}{\ln n_1 - \ln n_2} \quad (I.7)$$

Найденное выражение нужно проинтегрировать от некоторой достаточно большой высоты, где поток можно считать ещё не ослабленным поглощением, до рассматриваемого уровня. Нами в качестве верхней границы интегрирования принималась высота 1000 километров. При расчете интегрирование заменяется суммированием.

При учете сферичности Земли функция  $f(x)$  становится сложной, причем зависит от высоты. Она впервые вычислена и протабулирована Чепменом [6]. Несмотря на наличие таких таблиц, использование их при расчете на ЭЦВМ не всегда удобно, из-за загромождения памяти машины. Мы предпочли непосредственно подсчитывать поглощение

в атмосфере Земли без привлечения дополнительных таблиц.

С учетом сферичности Земли

$$\int n dh \cdot f(\chi) = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta \ell \frac{n_{i-1} - n_i}{\ln n_{i-1} - \ln n_i}, \quad (I.8)$$

где  $n_i$  - концентрация  $j$ -ой компоненты газа на высоте  $h_i$ ;  $\Delta \ell$  - элементарный отрезок пути луча. (Для определения полного поглощения используется формула (I.3))

Рассмотрим четыре случая:

1. Зенитный угол  $\chi = 0$ ,  $\cos \chi = 1$

В этом случае, как видно из рис. I, в формуле (I.8)

$$\Delta \ell = h_i - h_{i-1}$$

2.  $\chi < \frac{\pi}{2}$  Поглощение вычисляется для точки  $x$ . Из рассмотрения прямоугольных треугольников  $AOC$  и  $BOC$  (рис. 2) следует, что

$$AB = AC - BC = \sqrt{AO^2 - OC^2} - \sqrt{OB^2 - OC^2}; \quad (I.9)$$

или

$$\Delta \ell = \sqrt{S_i^2 - S_x^2 \sin^2 \chi} - \sqrt{S_{i-1}^2 - S_x^2 \sin^2 \chi}$$

$S$  отсчитываются от центра Земли;  $S_i = h_i + R_0$ , где  $R_0$  радиус Земли.

3.  $\chi = \frac{\pi}{2}$  Рассмотрев рис. 3, видим, что

$$\Delta \ell = AB = \sqrt{S_i^2 - S_x^2} - \sqrt{S_{i-1}^2 - S_x^2} \quad (I.10)$$

4.  $\chi > \frac{\pi}{4}$  Из рис. 4 видно, что все отрезки  $\Delta \ell$  вдоль пути луча, кроме  $AC$ , определяются таким же образом, как и для острого угла:

$$\Delta \ell_i = \sqrt{S_i^2 - S_B^2} - \sqrt{S_{i-1}^2 - S_B^2} \quad (I.11)$$

где  $S_B$  - минимальное расстояние от центра Земли до луча.

$$S_B = S_x \sin \chi$$

Элементарный отрезок  $AC$  определяется дополнительно:

$$AC = 2\sqrt{s_K^2 - s_B^2}$$

В точке В концентрация  $n_B$  вычисляется по формуле:

$$n_B = n_{K-1} \left( \frac{n_K}{n_{K-1}} \right)^{\frac{s_B - s_{K-1}}{s_K - s_{K-1}}} \quad (I.12)$$

Угол, при котором луч касается Земли, определяется из равенства

$$s_x \cdot \sin \chi = R_0$$

Для любого из четырех рассмотренных случаев соответствующие значения элементов пути  $\Delta \ell$  подставляются в выражение (I.8) и производится суммирование.

При ионизации жестким излучением (длина волны короче  $250 \text{ \AA}$ ) кроме прямой фотоионизации необходимо учитывать также вторичную ионизацию фотоэлектронами. Этот учет проводился нами согласно [7]. Принималось, что в среднем на образование одной пары ионов затрачивается определенная порция поглощенной энергии  $\mathcal{E}$ , не зависящая от энергии ионизирующей частицы или кванта. Для кванта с энергией  $E$  эффективное сечение ионизации с учетом вторичной ионизации фотоэлектронами следует увеличить в  $E/\mathcal{E}$  раз.

Так как энергия кванта обратно пропорциональна длине волны, то при  $\mathcal{E} = 32$  электроновольта для эффективного сечения ионизации получим:

$$\sigma_{\lambda}^i = 387 \lambda^{-1} \tilde{\sigma}_{\lambda}^i, \quad (I.13)$$

где  $\tilde{\sigma}_{\lambda}^i$  — сечение ионизации без учета ионизации фотоэлектронами, а  $\sigma_{\lambda}^i$  с учетом этого эффекта.

Описанная методика позволяет определять функцию  $Q$  для любого сезона в произвольной точке земного шара, кроме полярных областей, где в качестве источника ионизации наряду с солнечной радиацией необходимо учитывать вторгающиеся корпускулярные потоки.

По выбранной модели нейтральной атмосферы и рассчитанной функции  $Q$  строится детерминированная модель ионосферы. Так как эта модель затем корректируется по экспериментальным дан-

ным (в целом модель является полуэмпирической), то достаточно воспользоваться сравнительно простой системой уравнений, описывающей лишь важнейшие процессы. Нами взяты три уравнения непрерывности для трех сортов ионов: атомного кислорода  $O^+$ , водорода  $H^+$  и молекулярных ионов. Уравнения количества движения и энергии не включаются в модель.

Рассматриваются следующие ионообменные реакции:



Реакция идет в обоих направлениях, константы соответственно  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  ;



Для последних двух реакций вводится общий средневзвешенный коэффициент  $\gamma = \frac{1}{M} (\gamma_3 [N_2] + \gamma_4 [O_2])$

Для ионов  $O^+$  и  $H^+$  учитывается наличие амбиполярной диффузии вдоль магнитных силовых линий и нестационарный характер процессов. Для молекулярных ионов  $M^+$  наличием движений пренебрегаем. Рассматривается диссоциативная рекомбинация молекулярных ионов с общим средневзвешенным коэффициентом  $\alpha$  и радиативная рекомбинация ионов  $O^+$  и  $H^+$  с одинаковым коэффициентом  $\alpha_r$ . При этих предположениях система уравнений модели имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial [O^+]}{\partial t} = & q_o + \gamma_1 [H^+][O] - \gamma_2 [H][O^+] - \gamma [M][O^+] - \alpha_r [O^+]( [O^+] + [H^+] ) + \\ & + \frac{\partial}{\partial h} \left\{ D_o \left( \frac{\partial [O^+]}{\partial h} + \frac{O^+}{H_o} \right) \right\} \sin^2 \gamma; \end{aligned} \quad (I.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial [H^+]}{\partial t} = & q_H + \gamma_2 [H][O^+] - \gamma_1 [H^+][O] - \alpha_r [H^+]( [H^+] + [O^+] ) + \\ & + \frac{\partial}{\partial h} \left\{ D_H \left( \frac{\partial [H^+]}{\partial h} + \frac{[H^+]}{H_H} \right) \right\}; \end{aligned}$$

$$\frac{\partial [M^+]}{\partial t} = q_M + \gamma [M][O^+] - \alpha [M^+]( [O^+] + [H^+] ),$$

где  $[O], [H], [M]$  – концентрации атомов кислорода, водорода и нейтральных молекул;  $[O^+], [H^+], [M^+]$  – концентрации тех же составляющих в ионизованном состоянии;  $\phi_o, \phi_n$  и  $\phi_m$  – соответствующие скорости ионообразования;  $H_o$  и  $H_n$  – приведенные шкалы высот для ионов кислорода и водорода.

Система уравнений (I.17) представляется по неявной разностной схеме и решается методом прогонки на ЭЦВМ, сначала для кислорода, затем для водорода. Отыскивается периодическое решение. Затем вычисляется концентрация молекулярных ионов.

Рассмотрим выбор параметров и граничных условий, используемых при решении. В основном, применяются параметры, рассчитанные из ионосферных данных. Многие значения корректировались в процессе отладки модели.

Для определения коэффициентов  $\chi_3$  и  $\chi_4$  используются формулы Фергюсона [8]:

$$\chi_3 = 3,6 \cdot 10^{-10} T_n^{-1}, \quad (I.18)$$

$$\chi_4 = 9 \cdot 10^{-10} T_n^{-0,7} \quad (I.19)$$

Для оценки  $\alpha$  задается суточный ход  $f_o E$ . Предполагается, что максимум слоя  $E$  совпадает с максимумом скорости образования молекулярных ионов и что на высоте максимума существует фотохимическое равновесие. Пренебрегая на этой высоте атомами ионами и учитывая только диссоциативную рекомбинацию, имеем:

$$q = \alpha N^2 \quad (I.20)$$

где  $N$  – электронная концентрация.

В дневные часы формула олузит для определения  $\alpha$  в максимуме слоя  $E$ ,  $q$  при этом берется согласно расчету. Для ночных часов  $\alpha$  в максимуме слоя  $E$  считается постоянным во времени и принимается по значению в предзакатные часы.

Предварительные расчеты, проведенные на упрощенной модели, не включающей водород [9], показали необходимость учитывать высотную зависимость  $\alpha$ , связанную, в основном, с изменением электронной температуры. Ниже 180 километров электронная темпе-

ратура считается равной нейтральной и коэффициент  $\alpha$  с учетом значения, полученного для максимума слоя  $E'$ , определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\alpha_E T_E}{T}, \quad (1.21)$$

где  $\alpha_E$  и  $T_E$  берутся в максимуме слоя  $E'$ , а  $\alpha$  и  $T$  на рассматриваемой высоте.

Выше 350 километров значение  $\alpha$  не связывается с оценкой для слоя  $E'$  и рассчитывается по формуле [7,10] :

$$\alpha = 3 \cdot 10^{-7} \frac{300}{T_e} \quad (1.22)$$

Значение электронной температуры  $T_e$  отыскивается по эмпирической формуле согласно [11] :

$$T_e(h, t) = A_1(t) \left\{ 1 + \frac{2}{\pi} \arctg \left[ \left( 1 + \cos \frac{2\pi}{24} t \right) A_2 \right] h^3 + \right. \\ \left. + A_3 h^2 + A_4 h + A_5 \right\} + A_6(t), \quad (1.23)$$

где коэффициенты  $A_i$  подобраны по данным нескгерентного рассеяния на станции Миллстоун-Хилл [12, 13] .

Между 180 и 350 километрами применяется интерполяция. Нами опробовались два закона интерполяции: линейный

$$\alpha = \alpha_{180} + (\alpha_{340} - \alpha_{180}) \frac{h - 180}{340 - 180} \quad (1.24)$$

и логарифмический

$$\alpha = \alpha_{180} \left( \frac{\alpha_{340}}{\alpha_{180}} \right)^{\frac{h - 180}{340 - 180}} \quad (1.24a)$$

Логарифмическая интерполяция оказалась удачнее, так как при линейной вблизи 350 километров во многих случаях возникал крутой перегиб на графике зависимости  $\alpha$  от высоты, а вместе с тем и на  $N(h)$  профиле. Поэтому мы применяем логарифмическую интерполяцию.



Высокие скорости диссоциативной рекомбинации на малых высотах приводят к очень быстрому падению ионизации в слое  $E'$  после выключения источника ионизации.

Для того, чтобы на уровнях слоя  $E'$  модель давала ночью разумные значения электронной концентрации, необходимо учитывать наличие ночного источника ионизации - рассеянного излучения.

Поскольку  $\alpha$  и  $N$  в максимуме  $E'$  ночью заданы, то формула (I.20) ночью определяет  $Q$  на этой высоте. Следует иметь в виду, что результаты для ночи менее достоверны, чем для дня, из-за малого количества экспериментального материала по значениям  $f_o E'$ . Для высотного хода ночного  $Q$  принята формула простого Чемпеновского слоя:

$$Q = Q_E e^{1-\chi-e^{-\chi}}, \quad (I.25)$$

где  $Q_E$  - скорость ионизации в максимуме слоя  $E'$ ,

$$\chi = \frac{h-h_E}{H_M}$$

$h_E$  - высота максимума слоя  $E'$ , принимаемая равной высоте максимума функции ионизации в предзакатные часы.

$H_M$  - шкала высот для молекулярных ионов.

Для коэффициентов  $\chi_1$  и  $\chi_2$  приняты, согласно [14], значения  $\chi_1 = 2,6 \cdot 10^{-11} \sqrt{T}$  и  $\chi_2 = 2,9 \cdot 10^{-11} \sqrt{T}$

Для коэффициента радиативной рекомбинации взято:

$$\alpha_r = 10^{-12} \quad [15]$$

При расчете коэффициентов диффузии для кислорода и водорода следует, вообще говоря, учитывать как столкновения с нейтралами, так и ионное трение. Для случая диффузии ионов через неподвижную смесь нейтральных частиц и ионов других (одного или нескольких) видов коэффициент диффузии, с учетом торможения как о нейтральные частицы, так и о ионы, определяется выражением:

$$D = \frac{\delta}{n_n \zeta_n + \sum n_i \zeta_i}, \quad (I.26)$$

где  $n_n$  и  $\sigma_n$  — концентрация и сечение взаимодействия для нейтральных частиц, а  $n_i$  и  $\sigma_i$  — соответственно для каждого типа ионов, входящих в среду, через которую происходит диффузия.

При оценке взаимного движения нескольких сортов ионов друг относительно друга и относительно нейтральной среды формула (I.26) уже не является корректной и следует непосредственно решать уравнения количества движения для каждого сорта ионов. Однако, это сделало бы рассматриваемую систему уравнений слишком громоздкой. Мы сохранили выражение коэффициентов диффузии в форме (I.26), оценив дополнительно роль отдельных членов.

При взаимодействии ионов водорода и кислорода, существенном на больших высотах, нужно учитывать, что масса иона водорода значительно (в 16 раз) меньше, чем кислорода. Поэтому движение ионов водорода будет сильно меняться под действием кислорода, обратное же воздействие водорода на кислород будет невелико. В связи с этим в коэффициенте диффузии для кислорода  $D_o$ , водород можно не учитывать, в коэффициенте же для водорода  $D_n$  кислород учтен согласно (I.26). При этом предполагается, что скорость более подвижного водорода относительно нейтральных частиц и ионов кислорода существенно больше, чем относительная скорость этих двух компонент.

Рассмотрим влияние молекулярных ионов. В коэффициент  $D_n$  включать их, конечно, не нужно, так как на тех высотах, где водород играет заметную роль, концентрация молекулярных ионов ничтожна. Коэффициент  $D_o$  нуждается, в этом отношении, в более тщательном анализе. На малых высотах, где степень ионизации очень мала, влияние молекулярных ионов заведомо несущественно по сравнению с торможением о нейтральные компоненты. На достаточно больших высотах, где столкновения молекулярных ионов с нейтральными частицами происходят значительно реже, чем с ионами кислорода, молекулярные ионы увлекаются при движении ионов кислорода. При этом трение между этими компонентами тоже почти не будет влиять на движение кислорода (у них установятся почти одинаковые скорости). Существует, правда, промежуточный слой между рассмотренными областями, но он тонок и его роль невелика. С учетом описанных эффектов можно записать для  $D_o$  :

$$D_0 = \frac{\delta}{\sigma_n n_n + k \sigma_{n+} [M^+]} , \quad (I.27)$$

где  $k$  отражает эффект увлечения молекулярных ионов ионами атомного кислорода. Там, где столкновения молекулярных ионов с нейтральными частицами ( $\nu_{n+n}$ ) происходят значительно чаще чем с  $O^+$  ( $\nu_{n+O^+}$ ), то есть увлечение практически отсутствует,  $k=1$  (это примерно область ниже 200 километров). Выше  $k$  уменьшается по мере уменьшения отношения  $\nu_{n+n}/\nu_{n+O^+}$  так, что когда  $\nu_{n+n} \ll \nu_{n+O^+}$ , то есть увлечение практически полное,

$$k \rightarrow 0$$

Проверочный расчет по описанной формуле (I.27) показал очень слабое влияние молекулярных ионов, в связи с чем в модели мы в коэффициентах диффузии их не учитываем.

Таким образом, использовались выражения:

$$D_0 = \frac{2,4 \cdot 10^{17} \sqrt{T}}{\Sigma n} ; \quad (I.28)$$

$$D_n = \frac{10^{18} \sqrt{T}}{\Sigma n + 25000 [O^+]}$$

Коэффициент 25000 в знаменателе  $D_n$  отражает значительно большее сечение момента передачи импульса для иона, чем для нейтральной частицы за счет дальнего действия кулоновских сил. Он взят согласно Гинзбургу [16]. Коэффициент в числителе принят по Далгарно, который дает для  $1000^\circ$

$$D_0 n = 4,3 \cdot 10^{18} , \quad [17]$$

На нижней границе области решения, 100 километров, принимается условие фотохимического равновесия, на верхней границе — 1000 километров, предполагается наличие диффузионного равновесия, то есть не учитывается влияние потоков плазмы из протосферы.

Описанная модель является динамической, так как учитывает переходные процессы. Это позволяет использовать модель для описания явлений, вызываемых восходом, закатом, затмением Солнца [18] и т.д. В то же время учет переходных процессов сильно усложняет алгоритм и увеличивает время решения. Поэтому, используя модель в практических расчетах, удобно пренебрегать этими процессами в тех случаях, когда это не приводит к большим ошибкам. С целью выяснения границ применимости стационарного приближения нами анализировались эффекты нестационарности в различных условиях [19].

В случае стационарного приближения рассматривается упрощенный вариант модели без уравнения для водородных ионов. Все производные по времени в системе (1.14) обращаются в нуль. Из первого уравнения определяется концентрация  $[O^+]$  и подставляется во второе. Таким образом, решение находится без итераций для конкретного момента времени. Полученные результаты сравниваются с данными нестационарного варианта, описанного выше. Естественно, стационарное приближение наиболее пригодно для описания дневных условий. Как для зимы, так и для лета дневные профили, полученные в стационарном и нестационарном приближениях оказываются близкими между собой. После коррекции оба  $N(h)$  профиля (стационарный и нестационарный) практически совпадают вблизи максимума и выше него. Ниже максимума наблюдаются небольшие расхождения, меньше 10 %.

В ночных условиях непосредственный переход к стационарному приближению невозможен, так как в модели предусмотрено введение ночного источника ионизации только для области  $E'$ .

В области  $F_2$  ионизация в ночные часы сохраняется в модели именно за счет нестационарности. При этом концентрация в максимуме естественно сильно зависит от принятого значения коэффициента диффузии, определяющего скорость переходных процессов. Суточные вариации электронной концентрации в модели превышают истинные, однако, применение корректора позволяет исправить этот недостаток.

При переходе к стационарному приближению необходимо ввести некоторый источник, обеспечивающий ночную ионизацию в слое  $F_2$ . Наиболее естественно принять в качестве такого источника поток заряженных частиц из протоносферы.

Нами сделана попытка рассмотреть стационарное приближение с ночным нисходящим потоком  $10^8 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$  на верхней границе. При этом удастся при применении корректора воспроизвести профиль в области  $F2$  и выше. Но между слоями  $E$  и  $F$  появляется глубокий провал, сильно искажающий форму профиля. По-видимому, для применения стационарного приближения в ночных условиях необходимо вводить некоторый эффективный источник ионизации, действующий в промежутке между слоями  $E$  и  $F$ .

## § 2. Эмпирическая часть модели

Ионосферные экспериментальные данные характеризуются сильным разбросом, вызванным, прежде всего, нестабильностью измеряемых параметров. Поэтому необходима целенаправленная переработка эмпирического материала и представление его в форме, пригодной для использования в модели. При такой переработке должны быть отфильтрованы и отброшены случайные мелкомасштабные вариации и оставлены наиболее существенные систематические, легче поддающиеся физической интерпретации и составляющие фон, на котором можно выделить те или иные возмущения, соответствующие конкретным условиям.

Нами рассматриваются временные и пространственные вариации ионосферных параметров. Для их выявления необходимо: во-первых, использовать параметры, которые измеряются систематически за достаточный интервал времени и во многих пунктах Земного шара, чтобы можно было построить глобальную картину их распределения и выделить временную зависимость. Нами выбраны из этих соображений критические частоты слоев  $E$  и  $F2$  ( $f_o E$  и  $f_o F2$ ) а также приведенная высота слоя  $F2$  —  $h_p F2$ , так как эти параметры определяются по данным станций вертикального зондирования, мировая сеть которых достаточно широка, чтобы обеспечить материал для статистической обработки.

Далее необходимо выбрать метод обработки, обеспечивающий, по-возможности, компактное представление информации, содержащейся в отдельных измерениях, проведенных на разных станциях.

Для усреднения во времени по каждой станции используются медианные месячные значения. При этом исключаются колебания от суток к суткам и удается выделить закономерный суточный и сезонный ход ионосферных параметров, а также зависимость от солнечной активности. Однако эти данные еще содержат значительные ошибки, связанные как с погрешностями эксперимента, так и с неточностью нахождения медианных значений по недостаточно большому числу измерений. Кроме того, локальные особенности микроклимата вуалируют закономерности. Поэтому желательно при составлении глобальных карт производить дополнительное усреднение. Для этого удобно пользоваться представлением зависимости рассматриваемого параметра в виде ряда:

$$f(x, t) = \sum_{n=1}^K X_n(t) V_n(x) , \quad (2.1)$$

каждое слагаемое которого является произведением двух членов: одного, зависящего только от координат, другого — только от времени. Для упрощения в координатном члене будем учитывать одну координату.

В качестве  $X_n(t)$  обычно используют гармонические функции. Являясь наперед заданными, независимыми от реальных временных вариаций параметра, эти функции не всегда обеспечивают быструю сходимость ряда, и для достаточно полного представления временной вариации требуется использовать очень большое число гармоник. Мы предпочли применить естественные ортогональные компоненты, приложение которых к ионосферным параметрам описано Вертлибом и Двинских [20, 21]. При этом методе функции  $X_n(t)$  выбираются специально в применении к исследуемому массиву экспериментальных данных. Они рассчитываются исходя из требований:

1) ортонормированности функций и 2) наилучшей скорости сходимости ряда, то есть наименьшей квадратичной ошибки при представлении функции рядом с заданным числом членов [22].

Применим эти условия к нашей конкретной задаче. Медианные месячные значения исследуемого параметра  $f_oF2$ ,  $h_pF2$  или  $f_oF$  задаются для каждого часа местного времени на  $i$  ионосферных станциях. Для каждого часа на каждой станции:

$$f_{i\alpha} = \sum_{n=1}^K V_{n\alpha} X_{ni} + \delta_{i\alpha} , \quad (2.2)$$

где  $i$  - индекс, определяющий час суток;  
 $d$  - индекс, определяющий станцию;  
 $k$  - число компонент разложения;  
 $\delta_{id}$  - ошибка, даваемая разложением.

Все  $f_{id}$  заданы,  $V_{nd}$  и  $X_{ni}$  подлежат определению. Таким образом, всего неизвестных  $kz + 24k$ .

Условие ортонормированности компонент  $X$  записывается в виде:

$$\sum_{i=1}^{24} X_{ni} X_{mi} = \begin{cases} 0 & n \neq m \\ 1 & n = m \end{cases} \quad (2.3)$$

Это условие позволяет удобно рассчитывать коэффициенты  $V_{nd}$ , если компоненты  $X_{ni}$  известны. Умножим каждое из уравнений вида (2.2) на  $X_{mi}$  и сложим все уравнения, относящиеся к одной станции (за все 24 часа). Тогда:

$$\sum_{i=1}^{24} f_{id} X_{mi} = V_{md} \quad (2.4)$$

Отклонения  $\delta$  за разные часы считаются некоррелированными и поэтому соответствующий член выпадает.

Всего получается  $kz$  уравнений вида (2.4).

Условие минимальной суммарной квадратичной ошибки записывается в виде:

$$\sum_{d=1}^z \sum_{i=1}^{24} (f_{id} - \sum_{n=1}^k V_{nd} X_{ni})^2 = \min \quad (2.5)$$

или

$$\sum_{d=1}^z \sum_{i=1}^{24} f_{id}^2 - 2 \sum_{d=1}^z \sum_{i=1}^{24} f_{id} \sum_{n=1}^k V_{nd} X_{ni} + \sum_{i=1}^{24} \sum_{d=1}^z \sum_{n=1}^k V_{nd}^2 X_{ni}^2 = \min \quad (2.6)$$

Дифференцируя выражение (2.6) частным образом последовательно по всем  $X_{ni}$ , получим  $24k$  уравнений:

$$\sum_{d=1}^z f_{id} V_{nd} = X_{ni} \sum_{d=1}^z V_{nd} \quad (2.7)$$

Вместе с  $kl$  уравнений (2.4) эти уравнения образуют систему, однозначно определяющую все неизвестные.

Нами этот метод применялся для представления глобального распределения  $f_o F2$ ,  $h_p F2$  и  $f_o E$  [23]. Использовались данные для медианных месячных значений суточного хода на 100-120 станциях вертикального зондирования за 1962 и 1964 гг. (низкая активность).

Ночные значения  $f_o E$  лежат за пределом диапазона ионосферных станций и не фиксируются ими. Основным источником информации об этой области в ночные часы — ракетные измерения. Однако, они не так многочисленны и систематичны, чтобы допускать обработку по описанной методике. Поэтому в ночные часы (высота Солнца над горизонтом  $z_o < 0$ ) нами используется формула Боевкова [24]

$$f_o E = 0,6 + B e^{-c(z_o - z_{mo})^2};$$

$$B = 2,8 \sin \left[ \frac{z_{mo} + 27^\circ}{1,3} \right] + \Delta f;$$

$$c = \frac{\ln \frac{B}{0,3}}{(z_{mo} + 6^\circ)^2}; \quad \Delta f = (6 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-5} z_{mo}) W,$$
(2.8)

где  $z_o$  и  $z_{mo}$  — высота Солнца над горизонтом соответственно в рассматриваемый момент времени и максимальная за сутки;

$W$  — солнечная активность в числах Вольфа.

Для дневных часов  $z_o > 10^\circ$  значения  $f_o E$  вычисляются согласно описанному разложению по соответственным ортогональным компонентам. При промежуточных значениях зенитных углов

$$0 < z_o < 10^\circ$$

применяется интерполяция:

$$f_o E = f_o E(0^\circ) + [f_o E(10^\circ) - f_o E(0^\circ)] \frac{z_o}{10^\circ},$$
(2.9)

где  $f_o E$  для зенитных углов  $0^\circ$  и  $10^\circ$  определяются соответственно по формулам Боевкова и ортогонального разложения.

В некоторых случаях величина  $h_p F2$  не приводится в данных станции. Вместо нее дается параметр  $M(3000) F2$ . Тогда производился перерасчет по формуле Шимазаки [25]:

$$h_p F2 = \frac{1490}{M(3000) F2} - 176.$$
(2.10)



При расчете глобального распределения той или иной величины функции  $X(t)$ , по которым должно производиться разложение, предварительно определялись по II станциям с различными магнитными наклонениями для 4 сезонов при 4 значениях солнечной активности (годы максимума, минимума и два промежуточных значения солнечной активности). Найденные таким образом функции являются универсальными, пригодными для любого сезона и года. Для  $f_oF2$  такие функции приводятся Двинских в работе [21]. Для  $f_oE$  они даны на рис. 5.

После определения компонент разложения выбранные медианные суточные хода для всей глобальной сети станций за 1962 и 1964 годы разлагались по этим компонентам и строились зависимости коэффициентов  $V$  от выбранного параметра. Так как в слое  $F2$  диффузия вдоль магнитных силовых линий играет определяющую роль, и, таким образом, создается жесткий геомагнитный контроль состояния ионосферы, то для параметров  $f_oF2$  и  $h_pF2$  удобнее пользоваться магнитными координатами, а не географическими. Нами в качестве параметра при разложении используется модифицированная магнитная координата

$$x = \arctg \left( \frac{\operatorname{tg} \gamma_m}{\sqrt{\cos \varphi}} \right), \quad (2.11)$$

где  $\varphi$  — геомагнитная широта;

$\gamma_m$  — магнитное наклонение на высоте 300 км.

Вблизи магнитного экватора величина  $x$  совпадает с магнитным наклонением, у полюсов она сильно зависит от геомагнитной широты.

В слое  $E$  за параметр принята географическая широта.

Число используемых компонент разложения было выбрано равным 5, роль дальнейших членов разложения уменьшается, составляя 3–5% от вклада первой компоненты. Зависимость коэффициентов разложения от координаты отыскивалась по точкам, соответствующим отдельным станциям. Она аппроксимировалась полиномом Чебышева по методу наименьших квадратов. Число членов полинома Чебышева выбиралось равным II. На рис. 6 представлены в качестве примера зависимости пяти коэффициентов разложения для  $f_oF2$  от геомагнитной координаты для июня и июля. Видно, что хотя разброс данных по отдельным

станциям (точки на рисунках) очень значителен, полученный ход коэффициентов для соседних месяцев обнаруживает полную аналогию. Так как обработка результатов для разных месяцев велась совершенно независимо, то эта аналогия свидетельствует, что используемая методика позволяет выявлять систематические морфологические особенности ионосферы.

Наиболее заметное расхождение в ходе соответствующих коэффициентов заметно для первой компоненты и проявляется в наличии дополнительного максимума в южном полушарии. Легко видеть, что этот максимум обусловлен, в основном, воздействием одной точки, отмеченной на графике буквой А. Эта точка принадлежит станции *Madan* с весьма нестандартным суточным ходом, так что с помощью стандартных компонент разложения его не удастся представить с ошибкой менее 10%. Очевидно, точка отражает некоторую локальную аномалию, и ее нет смысла учитывать при построении глобального распределения. Поэтому в программе предусматривалась фильтрация исходных данных: все точки, расстояние которых от аппроксимирующей кривой превышало утроенное среднее отклонение отбрасывались и не учитывались при повторном построении аппроксимирующего полинома. Можно было найти после этого новое значение среднего отклонения и провести вторичную фильтрацию данных и т.д. пока не окажется, что точек, отстоящих больше, чем на утроенное среднее отклонение, не имеется.

Однако, если первая фильтрация существенно улучшает ход кривой, то дальнейшие фильтрации либо слабо влияют, либо даже ухудшают его, вуалируя приэкваториальные максимумы (рис.7). Поэтому мы во всех случаях при обработке данных применяли одну фильтрацию. При этом выбрасываются одна - две станции.

Суммирование всех компонент с соответствующими коэффициентами позволяет получить для каждого месяца карту значений  $f_oF_2$ ,  $f_oF_2$  или  $h_p F_2$ . Как видно, при их построении осреднение экспериментальных данных происходит в результате:

- 1) применения медианных значений;
- 2) ограничения числа членов ряда (2.1);
- 3) аппроксимации зависимости коэффициентов от координаты полиномом Чебышева.

Программа предусматривает возможность выдавать таблицу глобального поля либо непосредственно для геомагнитной координаты,

либо пересчитанную для географической широты. Последнее удобнее при непосредственном применении, но такая таблица справедлива лишь для определенного часа мирового времени, в то время как при применении геомагнитных координат таблица пригодна для любого часа суток.

На рис. 8 приводятся карты для  $f_oE$  для января и июня. Эти карты являются почти зеркальным отражением одна другой, зимнее и летнее полушария меняются местами. Область максимального значения  $f_oE$  соответствует полудню, а по широте сдвинута относительно экватора в летнее полушарие. В полярных областях видно повышение ионизации за счет корпускулярных потоков. На рис. 9, 10 даны карты для  $f_oF2$  в географических и модифицированных геомагнитных координатах для декабря 1962 года. Видно, что карта для магнитной координаты имеет более простую конфигурацию, что указывает на рациональность выбора этой координаты. На обеих картах хорошо видна в дневные часы экваториальная аномалия. Карта  $h_p F2$  дается на рис. II. Наибольшие высоты слоя отмечаются днем на экваторе, что соответствует теоретическим представлениям.

Для всех параметров карты более или менее систематически меняются с сезоном, поэтому имело смысл проследить зависимость коэффициента разложения от сезона. Нами построены графики изменения в течение года коэффициентов полинома Чебышева разложения для  $f_oF2$ .

Для всех гармоник коэффициенты, дающие основной вклад, имеют систематический ход. Очень сильный разброс, при котором вообще не видно определенной зависимости, наблюдается только у высших коэффициентов с малыми значениями, то есть мало существенных. Для сравнения приводятся первые три коэффициента первой гармоники и десятый коэффициент пятой гармоники (рис. 12, 13).

Описанным образом нами построены карты для  $f_oE$ ,  $f_oF2$  и  $h_p F2$  для каждого месяца 1962 и 1964 годов, соответствующих минимуму солнечной активности ( $F_{10.7}$  равно 100 для 1962 и 70 для 1964 года). Построенные таблицы глобального распределения указанных параметров можно рассматривать как самостоятельную эмпирическую модель, пригодную для практического использования.

В работе приводятся таблицы глобального распределения  $f_oE$ ,  $f_oF2$  и  $h_pF2$  для трех сезонов 1962 и 1964 годов.\* Как уже указывалось, для  $f_oF2$  и  $h_pF2$  в качестве параметра используется модифицированное магнитное наклонение  $x$ . Для удобства пользования таблицами на рис. 14 дана карта с нанесенными на ней изолиниями параметра  $x$ . Таблицы пригодны для любого часа мирового времени, поэтому они определяют одновременно и глобальное распределение соответствующей величины в данный момент и суточный ход ее в произвольной точке Земного шара.

При принятом методе обработки материала наличие долготной зависимости ионосферных параметров (для одного и того же часа местного времени) не учитывается. Эта зависимость может быть введена путем корреляционной поправки по значениям на ближайших станциях [21]. Соответствующая методика опробовалась и приводила к уменьшению расхождения осредненного поля с данными отдельных станций. Однако, глобальное распределение значения этих поправок зависит от мирового времени и таблица, учитывающая их, уже не является единой для всех суток. Поэтому при расчете таблиц, приведенных в работе, эти поправки не вводились. Рассчитанные таблицы применялись нами для коррекции детерминированной модели, описанной в предыдущем параграфе.

### § 3. Коррекция модели

При коррекции модели используются значения критических частот слоев  $E$  и  $F2$  —  $f_oE$  и  $f_oF2$  и приведенная высота слоя  $F2$  —  $h_pF2$ . Эти значения берутся либо из карт, описанных в предыдущем параграфе, либо непосредственно из эксперимента, если он имеется для нужного места и времени.

Величина  $f_oE$  используется, как описано в § I, для определения коэффициента рекомбинации  $\alpha$  для дневных часов и скорости ионообразования  $q$  для ночных. Соответствующий выбор параметров обеспечивает хорошее согласие модели с экспериментом в области  $E$ .

---

\* Столбцы определяют часы местного времени, строки — значения координат:  $\varphi$  для  $f_oE$  и  $x$  для  $f_oF2$  и  $h_pF2$ .

Для слоя  $F2$  такого простого способа определения того или иного параметра модели подобрать не удалось. Нами используется непосредственная коррекция уже рассчитанного  $N(h)$  профиля. При этом мы стремились:

1. Обеспечить совпадение высоты и электронной концентрации в максимуме слоя  $F2$  с экспериментом.
2. По возможности, сохранить форму  $N(h)$  профиля, полученного при решении уравнений непрерывности.
3. Не нарушить ход  $N(h)$  профиля в области  $E$ .

В соответствии с этими требованиями в точке максимума  $F2$  определяется  $\Delta h_{max}$  - отклонение рассчитанной высоты максимума от эксперимента и  $\alpha_{max}$  - коэффициент, показывающий отношение экспериментальной электронной концентрации к расчетной

$$\alpha_{max} = \frac{N_{max \text{ экп.}}}{N_{max \text{ расч.}}} \quad (3.1)$$

Выше максимума высота каждой точки рассчитанного  $N(h)$  профиля изменяется на  $\Delta z_{max}$ , а концентрация соответственно в  $\alpha_{max}$  раз. При этом в  $\alpha_{max}$  раз изменяется и производная концентрации по высоте, так что условие диффузионного равновесия на верхней границе не нарушается.

В слое  $E$   $N(h)$  профиль не корректируется, а между точкой минимума (долина между областями  $E$  и  $F$ ) и максимумом  $F2$  проводится интерполяция. Нами опробовалось два варианта интерполяции: линейная и нелинейная.

Так как различие между рассчитанным и экспериментальным профилем для всех рассмотренных нами случаев не очень велико и коррекция дает не очень большие поправки, то выбор способа интерполяции оказывается несущественным, и все варианты дают практически одинаковый результат.

Мы остановились на линейной интерполяции согласно формулам:

$$N = N_{расч} + (N_{max \text{ экп.}} - N_{max \text{ расч.}}) \frac{N_{расч} - N_{min}}{N_{max} - N_{min}}, \quad (3.2)$$

$$h = h_{расч} + (h_{max \text{ экп.}} - h_{max \text{ расч.}}) \frac{h_{расч} - h_{min}}{h_{max \text{ расч.}} - h_{min}},$$

где  $N$  и  $h$  — скорректированные значения электронной концентрации и высоты;  $N_{расч}$  и  $h_{расч}$  — значения, полученные непосредственно при решении системы дифференциальных уравнений.  $N_{max расч}$  и  $h_{max расч}$  — те же величины, рассчитанные для максимума слоя  $F2$ , а  $N_{min}$  и  $h_{min}$  — для нижней границы области коррекции.  $N_{max эксп}$  и  $h_{max эксп}$  — экспериментальные значения электронной концентрации и высоты максимума слоя  $F2$ .

Если долина на рассчитанном  $N(h)$  профиле отсутствует, то за нижнюю границу области коррекции принимается нижняя граница области решения (100 километров). Коррекция проводится для каждого часа суток по отдельности.

Описанный метод позволяет согласовать данные модели с экспериментом и пригоден для практического применения. Однако, физически более обоснован такой путь, при котором коррекция уже рассчитанного профиля не требуется, а согласие с экспериментом достигается за счет правильного выбора тех или иных физических параметров модели как для слоя  $E$ , так и для  $F2$ . Учет нестационарных эффектов сильно затрудняет такой выбор для  $F2$ , так как необходимо правильно задать не просто значение соответствующего параметра, но и его суточный ход.

Переход к стационарному приближению позволяет легче анализировать влияние различных процессов на решение. На высоту максимума сильное влияние оказывает ветер. Поэтому наиболее естественно использовать задание этой величины для коррекции высоты максимума. Такая методика применялась Штуббе для согласования его модели с экспериментом [26]. На рис. 15, 16 построены профили, рассчитанные с различными значениями скорости ветра, о. Уоллопс. Видно, что кроме значительного изменения высоты, ветер меняет и концентрацию в максимуме. Это вызвано тем, что он "сносит" слой как целое либо вверх в область менее интенсивной рекомбинации, либо вниз, где рекомбинация идет быстрее.

Нам не удалось подобрать универсальной аналитической зависимости, связывающей смещение максимума  $F2$  со скоростью вызвавшего его ветра. Поэтому выбор скорости ветра, необходимой для согласия высоты максимума с экспериментом осуществляется в модели последовательным перебором различных скоростей, начиная от 0 с шагом 2,5 метра в секунду. Перебор ведется до тех пор,

пока высота максимума расчетного профиля не сравнивается с экспериментальной с заданной степенью точности (4 километра).

Иногда при соответствующем ветре и концентрация в максимуме

$F2$  оказывается почти совпадающей с экспериментальной. Однако, часто наблюдаются расхождения, которые можно устранить варьируя какой-либо параметр, сильно влияющий на концентрацию и, по возможности, слабо на высоту максимума. Такими параметрами в дневных условиях являются  $\gamma$  — коэффициент ионообменных реакций (I.I5) и (I.I6) и  $q_0$ , а в ночных  $\gamma$  и поток на верхней границе, поддерживающий слой. Хотя названные параметры, в основном, определяют концентрацию, в некоторой мере изменяется и высота максимума, что может потребовать дополнительной поправки скорости ветра.

Нами принят следующий порядок коррекции. Для дневных часов, если высота максимума не совпадает с экспериментальной, подбирается значение ветра, обеспечивающее  $\Delta h_{max} < 4$  километров. Получающееся при этом значение электронной концентрации в максимуме сравнивается с эмпирическим.

Если отличие больше 10%, то коэффициент  $\gamma$  изменяется в  $a_{max}$  раз, повторяется расчет профиля и снова проверяется величина  $\Delta h_{max}$ . В случае надобности цикл коррекции повторяется. Для ночных условий коррекция также начинается с определения скорости ветра, обеспечивающей  $\Delta h_{max} < 4$  километров. Затем, если наблюдается расхождение концентрации в максимуме, то корректируется (умножается на  $a_{max}$ ) значение потока на верхней границе. Если и после этого концентрация отличается от эксперимента, то подправляется значение  $\gamma$  (делится на новое значение  $a_{max}$ ). Затем проверяется полученное значение  $\Delta h_{max}$  и, в случае необходимости, начинается новый цикл коррекции. Во всех проводившихся нами расчетах двух-трех циклов оказывалось достаточно для достижения заданной точности.

Следует отметить, что, независимо от принятой методики коррекции, получаемые значения высот менее достоверны, чем электронных концентраций. Это определяется исходным эмпирическим материалом. Действительно, данные ракетных экспериментов и измерений некогерентного рассеяния отрывочны и охватывают лишь очень небольшое количество точек на земном шаре, а вертикальное зондирование дает не истинную, а приведенную высоту  $h_p F2$

которая строго совпадает с истинной только при параболической форме слоя ниже максимума  $f^oF2$ . За неимением лучшей информации, мы принимаем  $h_p f^oF2$  за истинную высоту слоя.

Применение коррекции позволяет в значительной мере снизить влияние неточности задания тех или иных параметров детерминированной модели, так как при введении коррекции значения электронной концентрации слабее зависят от этих параметров.

#### § 4. Результаты, даваемые моделью, и их сравнение с экспериментом

Описанная модель, как уже указывалось, состоит из двух частей: эмпирической и детерминированной. Эмпирическая часть построена по мировой сети ионосферных станций и имеет глобальный характер. Детерминированная же часть ограничена поясом средних широт. Полярная ионосфера и область экваториальной аномалии не могут быть промоделированы без дополнений алгоритма, описанного в § I. Для полярных областей необходимо учесть корпускулярную ионизацию, влияние электрических полей и нагрев плазмы, а для экваториальной аномалии дрейф плазмы поперек магнитных силовых линий. Работы в этом направлении ведутся в настоящее время.

При сравнении данных модели с экспериментом следует иметь в виду, что модель строилась по медианным значениям, и различия между данными модели и экспериментом, проведенным в какой-либо конкретный день, не всегда связаны с погрешностями модели, а могут определяться отклонением условий в этот день от медианных. Поэтому более надежно использовать для сравнения данные систематических наблюдений, допускающие осреднение. Такими данными являются, в основном, результаты вертикального зондирования. Они весьма удобны для оценки точности эмпирической части модели, однако, для контроля формы  $N(h)$  - профиля, даваемого моделью, они менее удобны:

I. Иonoграмма непосредственно не определяет  $N(h)$ -профиля, так как высоты даются действующие, а не истинные. Существуют методы, позволяющие рассчитывать  $N(h)$  - профиль по иonoграмме, или, наоборот, иonoграмму - по  $N(h)$  - профилю, но такой расчет довольно громоздок и сопряжен с рядом неточностей.



2. Отсутствует информация об области, лежащей выше максимума  $F2$ .

Метод некогерентного рассеяния предполагает непрерывные наблюдения, однако, установки некогерентного рассеяния очень немногочисленны и публикуется лишь небольшая доля их наблюдений.

Нами использовались для сравнения как осредненные данные, так и результаты отдельных экспериментов в невозмущенные дни.

Оценка точности проводилась отдельно для эмпирической и детерминированной частей модели.

В эмпирической части при использовании распределения какого-либо из параметров  $f_oE$ ,  $f_oF2$ ,  $h_pF2$ , полученного описанным в § 2 методом, в качестве прогноза на следующий цикл солнечной активности возможно два источника появления ошибок. Первый связан с неточностью представления истинного распределения исследуемого параметра непосредственно за тот год, по которому использованы данные. Второй – с неполной повторяемостью ионосферных параметров за разные циклы. Нами были рассмотрены ошибки, вызванные каждым из источников в определении критической частоты слоя  $F2 - f_oF2$ .

Степень точности представления поля  $f_oF2$  оценивалась путем сравнения значений  $f_oF2$ , вычисленных с помощью ряда 2.1 § 2 для точек, в которых расположены ионосферные станции с исходными данными для этих станций. В качестве меры отклонения за данный час суток принималась относительная ошибка

$$\rho = \frac{f_oF2^p - f_oF2^c}{f_oF2^c}, \quad (3.1)$$

где  $f_oF2^p$  – значение параметра, даваемое разложением,  
 $f_oF2^c$  – значение параметра непосредственно на станции (медианное).

Был проанализирован суточный ход ошибок для станций, находящихся на разных широтах.

Ошибки в ночные часы оказались больше, чем в дневные. Это связано с особенностями применявшегося алгоритма ортогонального разложения, в котором значения коэффициентов  $V_k$  определяются

из условия минимальной суммарной абсолютной ошибки за сутки. Таким образом, абсолютным ошибкам за различные часы приписывается одинаковый вес, и они оказываются в среднем одинаковыми, что и приводит к существенному различию средней относительной ошибки за дневные и ночные часы за счет изменения величины  $f_0 F_2$ .

Распределение ошибок  $\rho$ , если рассматривать дневные и ночные часы отдельно, близко к нормальному, поэтому для каждой станции ошибка разложения характеризовалась величинами:

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \rho}{n}; \quad \bar{s} = \frac{\sum |\rho|}{n}, \quad (3.2)$$

каждая из которых вычислялась для дня и ночи отдельно.

$n$  - число часов для дня и ночи соответственно.

Величина  $\bar{s}_{f_0 F_2}$  позволяет судить о средней ошибке на каждой станции, а сравнение  $\bar{\rho}_{f_0 F_2}$  и  $\bar{s}_{f_0 F_2}$  показывает, являются ли ошибки за различные часы случайными или имеет место систематическое завышение или занижение  $f_0 F_2$ . Значения  $\bar{\rho}$  и  $\bar{s}$ , определенные для каждой станции, наносились на координатную сетку ( $\varphi, \lambda$ ) для разных сезонов 1962 г. Во многих случаях станции с приблизительно одинаковыми значениями  $\bar{\rho}$  и  $\bar{s}$  оказались расположены поблизости друг от друга, то есть образовали один регион с некоторым общим уровнем ошибки. На рисунке 17 представлена для примера карта таких регионов.

Штриховкой указаны области, для которых ошибка для дня и ночи одинакова (как по величине, так и по знаку).

Регионы систематических ошибок связаны с особенностями местного "климата" и повторяются для нескольких или даже всех сезонов (рис. 18-20). Однако встречается ряд станций (чаще в экваториальной и полярной областях), где рассчитанные значения  $f_0 F_2$  плохо воспроизводят форму суточного хода, то есть при значительной величине  $S$  не наблюдается систематического завышения или занижения разложения относительно суточного хода  $f_0 F_2$  на данных станциях от среднего.

Для проверки точности воспроизведения поля  $f_0 F_2$  в следующем солнечном цикле критические частоты, рассчитанные по данным 1962 г., сравнивались со значениями  $f_0 F_2$ , непо-

средственно измеренными на станциях в 1973 г. Как и следовало ожидать, в целом, точность прогноза оказалась ниже, чем точность разложения поля ионосферных данных по 1962 г., так как прибавились ошибки, связанные с неполной повторяемостью циклов и интерполяцией коэффициентов. Для большей части станций ошибки не превышают 5 % днем и 10 % ночью. Однако выделяются отдельные области, где наблюдаются систематические ошибки 20 % и ночью даже 30 %, на некоторых станциях во время полярной ночи отмечены ошибки  $\sim 50$  %.

Проводилось сравнение точности прогноза, использующего описанное ортогональное разложение, с прогнозом  $f_oF2$ , разработанным в ИЗМИРАН (Месячный прогноз распространения радиоволн).

Сравнивались ошибки для четырех сезонов отдельно по I2 широтным поясам для дня и ночи. Точность, обеспечиваемая той и другой методикой, оказалась приблизительно одинаковой. Однако расчет по формуле (2.1) настоящей модели выгодно отличается значительно большей простотой, что позволяет использовать его не только для узлов стандартной сетки, но и для произвольной точки, например на некоторой станции или вдоль заданной трассы.

При оценке точности детерминированной части модели использовались те или иные экспериментальные  $N(h)$  профили. Данные для коррекции задавались непосредственно по этим профилям без применения эмпирической части. Анализировалось, насколько удачно модель воспроизводит форму профиля электронной концентрации.

На рис. 21 а, б показаны  $N(h)$  профили для Миллстоун-Хилла для 0 и I2 часов для лета 1963 года. В качестве экспериментальных использованы данные Эванса по некогерентному рассеянию [I2, I3]. При расчете использовалась упрощенная аппроксимация высотного профиля электронной температуры согласно [9]. По-видимому, неточное задание температуры и определяет основное расхождение модели с экспериментом выше максимума  $F2$ . На тех же рисунках приведены профили по моделям Нисбета [27] и Равера [28]. Видно, что в I2 часов наилучшее согласие с экспериментом для профиля Равера. Это естественно, поскольку модель Равера строилась по данным Миллстоун-Хилла.

Результаты Ниобета дают превышение над экспериментом, но это вполне естественно, так как они относятся к большей активности  $F_{10.7} = 100$ , в то время как эксперимент проводился при  $F_{10.7} \sim 80$ . Для 0 часов наша модель дает результаты более близкие к экспериментальным, чем по Раверу и Ниобету.

Для Харькова для зимы и лета 1975 года рассчитывались высотные профили  $N(h)$  в стационарном и нестационарном вариантах (рис. 22а,б и 23а,б). Экспериментальные данные для этой станции были любезно предоставлены сотрудниками Харьковского политехнического института.

На всех графиках максимум  $F2$  по модели и эксперименту совпадает, что обеспечивается принятым методом коррекции. Форма профиля несколько лучше воспроизводится нестационарным вариантом модели, однако разница оказывается не очень большой. Наиболее заметна она на рис. 22б. На ночном  $N(h)$  профиле рис. 22а (зима 6 часов) имеется глубокая долина между областями  $E$  и  $F$ . Это может быть связано с аномально высоким значением критической частоты  $E$ , даваемой экспериментом и правильно воспроизводящейся моделью. Глубина долины может быть уменьшена введением в соответствующем интервале высот дополнительного источника ионизации, однако, это не удастся сделать достаточно обоснованно из-за отсутствия информации об интенсивности такого источника.

При оценке точности модели в целом выполнялся расчет  $N(h)$  профиля для заданной точки и момента времени с коррекцией по эмпирической части модели.

Так как при коррекции применяются медианные данные, то сравнение следует проводить также с медианными значениями электронной концентрации.

Были использованы данные вертикального зондирования для станции Иркутск за март 1962 года, обработанные Сидоровой С.Г. Ионограммы за один и тот же час всех суток выбранного месяца строились на общих осях и по ним определялась медианная ионограмма, которая затем использовалась для расчета  $N(h)$  - профиля по методу, описанному Мальцевой [29]. Этот профиль и служил для сравнения с моделью. На рис. 24 изображены

$N(h)$  - профили для 0, 8 и 20 часов местного времени по медианной ионограмме и по модели.

Видно, что применение коррекции по высоте улучшает согласие профилей. Для 0 часов коррекция высоты не требуется, так как рассчитанная по детерминированной модели высота максимума совпадает с полученной при статистической обработке эмпирического материала.

Форма кривых совпадает довольно хорошо. Основное различие профилей возникает за счет расхождения критических частот, непосредственно измеренных на станции и взятых из таблиц, построенных методом ортогонального разложения по всей мировой сети ионосферных станций § 2. Это расхождение может быть связано с неточностью определения медианных значений по данным отдельной станции при недостаточном числе измерений. При этом результат осреднения по всей сети станций точнее, чем по отдельной станции. Другой причиной могут быть локальные особенности микроклимата, не учитываемые моделью.

Для 0 и 8 часов приводятся профили, построенные с коррекцией непосредственно по данным станции (рис. 25). Для 0 часов в этом случае получается хорошее совпадение, для 8 часов на экспериментальном профиле имеется долина, которая не воспроизводится моделью.

Аналогичный расчет проведен для низкоширотной станции Аре-сибо. В нашем распоряжении не имелось медианных данных по Аре-сибо. Поэтому были использованы экспериментальные профили, взятые из работы Рао [30], представляющие собой результаты измерений методом некогерентного рассеяния за спокойный день 9 июня 1965 года. На рис. 26 представлены экспериментальные  $N(h)$  - профили для 9 и 13 часов и соответствующие профили, рассчитанные по модели при грубой аппроксимации  $T_e : T_e = 4 T_n$  днем и  $T_e = T_n$  ночью [9]. Видно, что здесь электронная температура завышена (расчетные графики идут вверх круче, чем экспериментальные).

Так как формула ортогонального разложения (2.1) позволяет легко определять параметры  $f_o F^2$ ,  $f_o F^2$  и  $h_p F^2$  для любой точки и любого момента времени, то модель позволяет рассчитывать эти параметры, а в случае необходимости и  $N(h)$  профили вдоль заданной радиотрассы. Нами разработана соответствующая программа, проведены расчеты и их сравнение с экспериментом.

В качестве примера приведем протяженную трассу Харьков – Иркутск. Вычисления велись для спокойных дней мая 1976 года и ноября 1975 года. Данные станций вертикального зондирования, лежащих вдоль трассы, за эти дни были любезно предоставлены нам сотрудниками лаборатории распространения радиоволн СибИЗМИР АН СССР. К сожалению, в обоих случаях экспериментальные данные имелись только за дневные часы. На рис.27 показано расположение станций вертикального зондирования по отношению к рассматриваемой трассе. На трассе отмечены точки, наиболее близкие к станциям, с которыми и проводилось сравнение.

На рис. 28–30 приведено изменение параметров  $f_oE$ ,  $f_oF2$  и  $h_pF2$  для соответствующих станций непосредственно по эксперименту и согласно данным модели. За 17 ноября 1975 года для  $f_oE$  данных было очень мало, но там, где они имелись, – наблюдалось хорошее согласие с экспериментом. Для  $h_pF2$  экспериментальные кривые дают резкие беспорядочные скачки от часа к часу, что вызвано тем, что даже небольшие изменения формы профиля сильно сказываются на величине этого параметра. Разумеется, эти скачки не могут воспроизводиться медианной моделью. Среднее же значение  $h_pF2$  описывается удовлетворительно.

Хорошее согласие с экспериментом наблюдается и для параметра  $f_oF2$ .

Для 15, 16 мая 1976 года для  $f_oE$  и  $h_pF2$  результаты оказались аналогичными, для  $f_oF2$  наблюдалось заметное расхождение: данные вертикального зондирования на всех станциях оказались процентов на 15 выше расчетных. Так как эта разница отмечена для всех станций, то, по-видимому, она связана не с погрешностями модели, а с отклонением рассматриваемых дней от медианы. Одинаковый характер ошибки наводит, кроме того, на мысль о возможности коррекции модели по измерениям на одной – двух станциях.

В нескольких точках трассы проводилось дополнительно сравнение модельных и эмпирических  $N(h)$  профилей. На рис.31 показаны  $N(h)$  профили для Иркутска.

Экспериментальный профиль восстановлен по ионограмме методом, разработанным в Полярном геофизическом институте. При расчете профиля по модели значения  $f_oE$  и  $h_pF2$  задавались непо-

средственно по результатам ортогонального разложения, а  $\int_0^{\infty} F^2$  увеличена на 15 % с целью лучшего отражения особенностей рассматриваемого дня. Для сравнения приводится профиль по модели Соболевой [31] .

Как видно из рисунка в области максимума слоя  $F^2$  с экспериментом лучше совпадают результаты настоящей модели.

Модель определяет не только электронную концентрацию, но и ионный состав. На рис. 32 приводятся процентные концентрации ионов  $M^+$ ,  $O^+$  и  $H^+$  в рассматриваемом интервале высот 100–1000 километров для широты Миллстоун-Хилла. Построены графики для 0 и 12 часов для трех сезонов при низкой активности. Днем концентрация ионов  $O^+$  по сравнению с  $H^+$  и  $M^+$  возрастает, так как именно ионы  $O^+$  наиболее интенсивно генерируются солнечной радиацией. Ночью внизу ионы  $O^+$  частично переходят в молекулярные при ионообменных реакциях, вверху концентрация ионов кислорода за счет оттока вниз и рекомбинации там понижается и относительное содержание  $H^+$  увеличивается. Следует отметить, что не учитываемая моделью связь ионосферы с протоносферой должна увеличить суточные колебания водорода, поскольку днем происходит утечка этих ионов в протоносферу, а ночью, наоборот, существует поток вниз из протоносферы.

Сезонные изменения относительной концентрации  $M^+$  оказались незначительными. Высота, на которой концентрации молекулярных ионов и ионов атомного кислорода в полдень оказываются равными лежит на средних широтах вблизи 180 километров. Та же высота дается в эмпирической модели Данилова А.Д. и Власова М.Н. [32] .

Для  $H^+$  сезонные вариации более заметны. Зимой относительная концентрация ионов водорода повышается. Это связано, по-видимому, как с уменьшением скорости генерации  $O^+$  при увеличении зенитного угла  $\chi$  , так и с изменением модели нейтральной атмосферы за счет понижения температуры.

Существенный интерес представляет высота, на которой концентрации ионов  $O^+$  и  $H^+$  равны между собой. Она рассчитывалась в модели Штуббе [33] для равенства при трех значениях солнечной активности. Высота тем больше, чем выше активность. Нами эта высота определялась для низкой активности. Она

оказалось значительно больше, чем у Штуббе, и совпадает приблизительно с тем значением, которое Штуббе приводит не для низкой, а для средней активности. Это может быть вызвано либо различиями в нейтральной атмосфере (у нас используется модель Якки [1], а в модели Штуббе свойства нейтральной атмосферы рассчитываются совместно с ионосферой), либо интенсивностью процессов диффузии. С повышением коэффициентов  $D_0$  и  $D_H$  в нашей модели увеличиваются нисходящие потоки плазмы, при этом относительные концентрации ионов водорода возрастают, а высота, на которой  $[O^+]$  равна  $[H^+]$ , соответственно понижается. Сравнить параметры диффузии нашей модели и в модели Штуббе затруднительно, так как диффузия учтена в разных формах: в нашей модели члены диффузии входят в уравнения непрерывности, в то время как в модель Штуббе непосредственно введены уравнения количества движения.

Для низкоширотной станции Аресибо уровень, на котором

$$[O^+] = [H^+],$$

согласно нашей модели проходит ниже, чем для Миллстоун-Хилла (более интенсивная генерация  $O^+$ ). На рис. 33 показаны суточные вариации этого уровня по нашей модели и по эксперименту Карлсона и Гордона, проведенному методом некогерентного зондирования [34] зимой в Аресибо. Наблюдается значительная аналогия в ходе кривых, однако расчетная кривая проходит выше.

Ракетные измерения, проводимые с помощью масс-спектрометра [35], а также выводы, сделанные по косвенным данным в работе [36], указывают для ночи высоту границы  $[O^+] = [H^+]$  600 километров, что хорошо согласуется с нашей моделью.

Следует иметь в виду, что ионный состав в отличие от электронной концентрации, определяется только детерминированной частью модели и не корректируется по эксперименту. Поэтому он дается с меньшей точностью.



# § 5. Расчет $N(h)$ профилей вдоль заданной радиотрассы (описание и распечатка программы)

Для практического применения модели при анализе распространения радиоволн приводится программа расчета  $N(h)$  профилей. В данном случае используется стационарный вариант модели с коррекцией ветрового переноса, потока из плазмосферы и констант фотохимических реакций. Коррекция выполняется по медианным значениям  $f_o F2$ ,  $f_o E$  и  $h_p F2$ , полученным методом ортогонального разложения (кроме ночных значений  $f_o E$ , где применена формула Боеикова).

Большой интерес в ряде приложений представляют поперечные градиенты ионосферных параметров. Для их определения в программе предусмотрена возможность расчета трех параллельных трасс на заданных расстояниях друг от друга. При оценке поглощения радиоволн необходимо знать электронные концентрации на высотах ниже 100 км. Так как эта область не описывается нашей моделью, в программе использованы результаты Несторова [37]. От 40 до 100 километров  $N(h)$  профиль аппроксимируется двумя экспонентами:

$$N(40 \text{ км} \leq h \leq 65 \text{ км}) = 5 \exp(0.12 \times (h - 40)) ; \quad (5.1)$$

$$N(65 \text{ км} < h \leq 100 \text{ км}) = N_{65} \times \exp\left(\ln \frac{N_{100}}{N_{65}}\right) \times \frac{h - 65}{100 - 65} ,$$

где параметры первой экспоненты принимаются постоянными, а во второй электронная концентрация на 100 километрах  $N_{100}$  берется по данным нашей модели, а  $N_{65}$  по первой экспоненте.

Вся программа состоит из нескольких процедур.

Процедура "ТРАССА" рассчитывает параметры  $f_o E$ ,  $f_o F2$  и  $h_p F2$  и состоит из процедур: "ФИЛЛ 2", "FOE", "PHPF2", "ИНТЕРПОЛАК".

Процедура "ФИЛЛ 2" вычисляет кратчайшее расстояние между точками начала и конца трассы (эти точки не должны быть диаметрально противоположными), а также координаты промежуточных точек трассы и расстояния между ними. В случае трех трасс

( $TP=3$ ) для определения поперечных градиентов на задаваемом расстоянии  $HK$  километров от центральной трассы вычисляются координаты параллельных трасс. Здесь же определяется магнитное наклонение  $J$  и модифицированное наклонение

$x_m = \arctg(\lg J / \sqrt{\cos \Phi})$ ; ( $\Phi$  — геомагнитная широта) для каждой точки трассы. Значения критических частот слоев  $E$  (в дневные часы) и  $F2$  и высот максимума  $H_p F2$  рассчитываются в процедурах  $FOE$  и  $FHPF2$ . Используемые значения

$x_k$  естественных ортогональных компонент заданы для каждого часа, и в каждой точке трассы проводится интерполяция по местному времени. Координатные функции  $V_k(x)$  выражены полиномами Чебышева. Коэффициенты этих полиномов  $A_k$  рассчитаны для двух лет с разной солнечной активностью: 1962 и 1964 годов. Если солнечная активность в исследуемом году ( $j$ ) меньше чем в 1962, но больше чем в 1964 году, то для вычисления коэффициентов  $A_{kj}$  используется процедура "ИНТЕРПОЛАК". Эта процедура вычисляет массив коэффициентов  $A_{kj}$  по формуле линейной интерполяции:

$$A_{kj} = A_k(1964) + [A_k(1962) - A_k(1964)] \times \frac{W_j - W_{1964}}{W_{1962} - W_{1964}}, \quad (5.2)$$

где  $W$  — числа Вольфа, взятые в качестве индекса солнечной активности.

Для расчета состава нейтральной атмосферы и скоростей ионизации применяется процедура "MAG73"

Совокупность этих данных используется при решении системы стационарных уравнений, описывающих распределение молекулярных и кислородных ионов и электронов в интервале высот 100–1000 километров. Решение проводится с помощью процедуры "ПРОГОНКА". При коррекции применяются ионосферные параметры, определенные процедурой "ТРАССА".

Высотные профили эффективной частоты соударений  $\nu(h)$  рассчитываются в процедуре "ЧАСТОТА" согласно [38]

$$\nu(h) = 3.6 \times 10^{-10} \times n(h) \times T_e(h)^{1/2} + 5.5 \frac{N(h)}{T(h)^{3/2}} \ln \frac{220 \times T_e(h)}{N(h)^{1/3}}$$

Для расчетов высотного профиля диэлектрической проницаемости  $\epsilon(h)$  используется известная формула

$$\epsilon(h) = 1 - 0.183 \cdot 10^{-6} \cdot N(h) \quad [16]$$

## ИНСТРУКЦИЯ

Для работы программы необходимо ввести следующие данные:

### I. Карта параметров I .

1.  $M$  - число точек по высоте.
2. TOT - мировое время в часах ( GMT ).
3.  $Z_0$  = 100 км - начальная высота.
4.  $KM$  = 172 - количество интервалов длин волн используемого солнечного спектра.
5.  $F_{10.7}$  - активность Солнца, осредненная за три месяца до даты определения.
6.  $F1_{10.7}$  - активность Солнца за предыдущий до исследуемого день.  
 $F$  и  $F1$  задаются в единицах  $10^{-22} \text{ Вт/М}^2 \text{ МГц}$
7.  $KPI$  - десятичасовой геомагнитный планетарный индекс.
8.  $d$  - количество дней от 1 января до исследуемого дня.

### II. Карта параметров II.

9.  $TP=1$  (или 3) - количество трасс.
  10.  $KTT$  - количество точек на трассе.
  11.  $\Phi И 1$  - широта
  12.  $\Lambda Я 1$  - долгота
  13.  $\Phi И 2$  - широта
  14.  $\Lambda Я 2$  - долгота
- } точки начала и конца трассы  
в градусах. Эти точки не должны быть диаметрально противоположными.
15.  $W$  - солнечная активность в числах Вольфа.
  16. ГОД - исследуемый год (четырёхзначное число).

17.  $TG[1:12]$  - массивы высотных профилей температуры и нейтральных молекул соответственно
18.  $HG[1:12]$  для интервала высот 40-95 км (через 5 км) по модели Гровса [39].
19.  $Z[1:M]$  - массив высот (целый), 90 километров входит обязательно.
20.  $Y[1:KM]$  - массив значений  $Y_{\infty}$  потока солнечной ультрафиолетовой радиации на границе земной атмосферы, нормированный множителем  $10^7$  [6].
- 21, 22, 23  $SJ1, SJ2, SJ3[1:KM]$  - массивы сечений поглощения для каждой длины волны  $\lambda$  для  $O$ ,  $O_2$  и  $N_2$  соответственно [6].
- 24, 25, 26  $SI1, SI2, SI3[1:KM]$  - массивы сечений ионизации для каждой длины волны для  $O$ ,  $O_2$  и  $N_2$  соответственно [6]. Массивы  $SJ$  и  $SI$  нормированы множителем  $10^{17}$ .
27.  $INTERPOL = 0, 1$  (1, если нужна интерполяция коэффициентов  $A_K$ ).
28.  $HK$  - расстояние в км от центральной трассы; (если  $TP=1$ , то  $HK$  - любое число).
- 28а. Два числа  $W_1 = W_{1964}$  - активность Солнца за 1964 г.  
 $W_2 = W_{1962}$  - активность Солнца за 1962 г.  
 если  $INTERPOL = 0$ , то ввода 28а нет.
- 29, 30, 31, 32 Массивы  $G, H, G1, H1[1:8, 0:8]$  - коэффициенты стандартной модели геомагнитного поля.
33.  $E\Phi[1:5, 1:24]$  - массив естественных ортонормированных функций для  $f_o F2$ .
34.  $A_K[1:5, 1:11]$  - массив коэффициентов ряда Чебышева для  $f_o F2$ .
- а). если  $INTERPOL = 1$ , то вводятся  $A_K$  за 1964 год и  $A_K$  за 1962 год.
35.  $E\Phi[1:5, 1:24]$  для  $h_p F2$
36.  $A_K[1:5, 1:11]$  для  $h_p F2$ .

37.  $\varepsilon_0 \varphi$  } для  $f_0 E$   
 38.  $A_k$

На печать выдается следующая информация:

1. Печать карт параметров I и II.
2. Массивы  $TC, HG$  (модель Гровса 1970 [39]).
3. Массив высот  $Z$  в километрах.
4. Число отрезков на трассе.
5. Число трасс.
6. Расстояние в км от центральной трассы.
7. Длина трассы в км.
8. Длина отрезка трассы в км.
9. Широты и долготы точек трассы в градусах (с точностью до  $0.1^\circ$ ). В случае  $TP=3$  значения, относящиеся к центральной трассе находятся во 2-ом столбце (широта) и в 5-ом (долгота).
10. Наклонение  $\gamma$  в градусах (с точностью до  $0.1^\circ$ ).
11. Модифицированное наклонение  $x_m$ , приведенное к единице (от  $(-1)$  в северном полушарии до  $(+1)$  в южном полушарии).
12. Номер месяца (от I до 12).
13. Мировое время в часах (GMT).
14. Значения  $f_0 F2$  в МГц (или  $h_p F2$  в км, или  $f_0 E$  в МГц).
15. Значения градиентов  $\Delta f_i = \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta S} \times 100\%$  ( $f_i$  - частота  $f_0 F2$  в точке  $i$ ,  $\Delta S$  - отрезок трассы в км) для одной трассы ( $TP=1$ ); или центральной трассы ( $TP=3$ ). При  $TP=3$  вычисляются градиенты перпендикулярно центральной трассе ( $\Delta f_u$ ):
 
$$\Delta f(1,3) = \frac{f(1,3) - f_u}{HK} \times 100\%$$
16.  $N^2$  - точки на трассе,  
 $\Phi И, ЛЯ, \gamma$  - широта, долгота и магнитное наклонение в градусах для данной точки трассы.

$$\left. \begin{array}{ll} F E_s - f_o E & \text{в заходный час} \\ F E - f_o E & \text{в данный момент времени} \\ F F2 - f_o F2 & \text{— " —} \end{array} \right\} \text{ в МГц}$$

$$N E_s, N E, N M - f_i^2 \times 1,24 \times 10^4 (\text{см}^{-3}) -$$

основные ионосферные параметры слоев  $E$  и  $F2$  .

$h_m$  — высота максимума слоя  $F2$  .

Данные по п. I6 выдаются для всех точек трассы полученных с заданным шагом.

I7. Склонение  $\delta_o$  (сезон), широта, долгота, задаваемое время в секундах (  $LMT$  ), магнитное склонение  $\mathcal{J}$ ,  $\sin^2 \mathcal{J}$ ,  $\cos(\chi)$  — косинус зенитного угла Солнца.

I8. Параметры коррекции.

I9. Печать часа и  $\cos(\chi)$

20. Высоты от 40 до 65 км.

21.  $N$  (40+65 км) в  $\text{см}^{-3}$  .

22.  $\nu$  (40+65 км) .

23. Высота 70–95 км.

24.  $N$  (70–95 км) .

25.  $\nu$  (70–95 км) .

26. Печать с п. I7 по п. 25 для следующих двух точек на трассе.

27. Для высот 100–1000 километров выдаются на печать следующие массивы для трех точек трассы последовательно:

$$N(h), \lg(N(h)), \nu(h), \varepsilon(h) .$$

28. После этой печати, если число точек на трассе  $> 3$  , то печать повторяется с I7 пункта (КТТ/3) число раз.

```

_BEGIN _REAL T1, HF, DZ, ЛЯ, ФИ, ФИ1, ЛЯ1, ФИ2, ЛЯ2, W, NM, ZM, SCNH, SKOC, VS;
_REAL A, АЯ, B0, C0, D0, BM, CM, DM, Г, Е, R0, R1, R2, R3, R4, R5,
R6, R7, R8, H, F1, DE, F, F1, KP1, A0, Г1, NOE, SN2, MO, RR, CS, R9, T8;
_INTEGER M, MO, K, I, C, CC, KM, NB, D, HA, K1, R1, H1, Z0, R, T0, T, TAU;
_INTEGER ГОД, NS, Ш, КТТ, ТР, Т0Т, КИ, IV; INPUT(M, T0Т, Z0, KM, F, F1, KP1, D);
INPUT(ТР, КТТ, ФИ1, ЛЯ1, ФИ2, ЛЯ2, W, ГОД); OUTPUT('/', '230В', M, T0Т,
Z0, KM, F, F1, KP1, D, ТР, КТТ, ГОД, '4В', '2-3D, DDB', W, ФИ1, ЛЯ1, ФИ2, ЛЯ2, '/');
DE = TG(0.4101) * SIN((D-80) * 6.28318 / 365); DE := ARCTG(DE) * 57.3;
_BEGIN _ARRAY TT, NO, MM, AM, FF, Q, QM, QH, NR, NK[1:M], NHI3[1:6],
JJ, SJ1, SJ2, SJ3, S11, S12, S13[1:KM], FE3, FE, FF2, HF2, ФТ, LT, УТ[1:КТТ];
_ARRAY TG, HG[1:121, H0[1:6]]; _INTEGER _ARRAY Z[1:M]
_PROCEDURE П(X); _ARRAY X; _BEGIN OUTPUT('/', 'E- 4D0+DDB', X, '/') _END
_PROCEDURE ПЕЧАТЬ(A, B, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М, Н);
_BEGIN _ARRAY X[2:13]; X[2] := B; X[3] := Г; X[4] := И; X[13] := М;
X[5] := Д; X[6] := Е; X[7] := Ж; X[8] := З; X[9] := И; X[10] := К; X[11] := Л; X[12] := М;
OUTPUT('240.DB', A, 'E-D, DD0+DDB', X) _END ПЕЧАТЬ;
MARG(0, 128, 0, 0, 0, 0); INPUT(TG, HG, Z); П(TG); П(HG);
OUTPUT('Т', 'Z, В КМ', '/', '2-5D, DDB', Z, '/');
_FOR I = 1, I+1 _WHILE Z[I] ≤ Z0 _DO MO := I;
INPUT(JJ, SJ1, SJ2, SJ3, S11, S12, S13);
_FOR K := 1 _STEP 1 _UNTIL KM _DO _BEGIN S13[K] := S13[K] * JJ[K] * 10;
S11[K] := S11[K] * JJ[K] * 10; S12[K] := S12[K] * JJ[K] * 10 _END
_BEGIN _ARRAY NN, B, N1, N2, N3, N4, OD, HH, G, Q12, GE[MO:M],
AA[MO+1:M-1, 1:3], PE3IM0[M, 2:13];
_PROCEDURE ПРОГОНКА(M, MO, B0, C0, D0, BM, CM, DM, AA, FF, NK);
_VALUE M, MO, B0, C0, D0, BM, CM, DM;
_INTEGER M, MO; _REAL B0, C0, D0, BM, CM, DM; _ARRAY AA, FF, NK;
_BEGIN _INTEGER J; _REAL R; _ARRAY AФ, БТ[MO:M-1]; AФ[MO] := B0 / C0;
БТ[MO] := D0 / C0; _FOR J := MO+1 _STEP 1 _UNTIL M-1 _DO _BEGIN
R := AA[J, 2] - AA[J, 1] * AФ[J-1]; AФ[J] := AA[J, 3] / R;

```

```

BT(J) = (AA( 1)*BT(J-1)-FF(J))/R;_END
NK(M):=(DM-CM*BT(M-1))/(BM-CM*AF(M-1));
_FOR J =M-1_STEP -1_UNTIL M0_DO NK(J):=NK(J+1)*AF(J)-BT(J);
_END ПРОГНОЗИ;

PROCEDURE AX _BEGIN R5:=Z(I);_IF R5>340_THEN
_IF R5<180_THEN _BEGIN A =R3:=
_BEGIN A:=3*-7*300/(TT(I)*2*(1+Q(I))+QM(I))/Q12(I));_GOTO MX_END
_IF CS<.05_THEN B(I)_ELSE A0*TT(H1)/TT(I)_END
_IF R5>180_THEN _BEGIN R6:=(R5-180)/160;A =R3*(R4/R3)*R6_END
MX _END AX

_PROCEDURE ЧАСТОТА(K,J,R,T,T1,N,H,H1,H2,X)
_VALUE K,J,R,T T1,N,H,H1,H2:_INTEGER K,J,R:_ARRAY T,T1,N,H,H1,H2,X;
_BEGIN _INTEGER I _REAL A,B,C,E,F;A:=1/3;
_FOR I:=J_STEP 1_UNTIL R_DO _BEGIN _IF K<12_THEN _BEGIN
B:=T(K);E:=H(K)_END _ELSE _BEGIN
B:=T1(I);E:=H1(I)+H2(I)/I_END :F:=N(I);K:=K+1;
C:=SQRT(B);X(I) =3.6*-10*E*C+5.5*F/(B*C)*LN(220*B/F!A)_END _END

_PROCEDURE МЯГ73(TB,F1,DE,H,F,F1,KP1,NM,NB,Z,T,0,02,N2,AH,HE,Q1,Q2,Q3);
_VALUE TB,F1,DE,H,F,F1,KP1,NM,NB;
_REAL TB,F1,DE,H,F,F1,KP1:_INTEGER NM,NB:_INTEGER _ARRAY Z;
_ARRAY T,0,02,N2,AH,HE,Q1,Q2,Q3:_BEGIN _INTEGER I,I1,J,K,NS,Z0;
_REAL ПМ,Я,Я1,Я2,Я3,Я4,Я5,Я6,Я7,S,TAY,ЭТА,ТЕТА,R,DTC,TC,ТХ,
PO,M,M1,N,R3,KA,GO,CS,SN,P,P1,QU1,QU2,QU3;
_IF Z(NB)<800_THEN NS:=NB_ELSE _BEGIN
_FOR I =NM_STEP 1_UNTIL NB_DO _IF Z(I)>800_THEN _BEGIN NS:=I-1;
Z0:=Z(I)-11;I:=NB_END _END ;_BEGIN _ARRAY C(0:6),ПМ,A,B,KT(NM:NB);
_PROCEDURE TEMP(TM,Ф,Y);_VALUE TM,Ф:_REAL TM,Ф:_ARRAY Y:_BEGIN
_IF TB>0*TM=H_THEN _GOTO EL;Я1:=15*(TM-12);
TAY:=(Я1-37+6*SIN((Я1+43)*Я))*Я;ЭТА:=.5*ABS(Ф-K*DE)*Я;
ТЕТА:=.5*ABS(Ф+K*DE)*Я;R:=.3;DTC:=(21.4*SIN(Ф*Я)+17.9)*

```



```

KP1+.03*EXP(KP1);TC =379+3.24*F1+1.3*(F-F1);
TB =TC*(1+R*SIN(ETA)!2.2)*(1+R*(COS(ETA)!2.2-SIN(ETA)!
2.2)/(1+R*SIN(ETA)!2.2)*ABS(COS(TAY/2)!3))+DTG;
EL:TX:=371.6678+.0518886*TB-294.3505*EXP(-.002162222*TB);
C(1):=1.9*(TX-183)/35;C(2):=0;C(3):=-5.1*(TX-183)/128625;
C(4):=-.8*(TX-183)/1500625;R2:=2/PI*(TB-TX);
_FOR I =NM_STEP 1_UNTIL NB_DO _BEGIN _IF Z[I]≤125_TNEN _BEGIN
R1:=0;_FOR J:=1_STEP 1_UNTIL 4_DO R1:=R1+C(J)*(Z[I]-125)!J;
Y[I]:=TX+R1_END _ELSE Y[I]:=TX+R2*ARCTG(C(1)/R2*
(Z[I]-125)*(1+.5*-6*(Z[I]-125)!2.5))_END _END TEMP;
K:=3;PI:=3.14159265;R:=PI/180;R3:=6356.766;
KA:=8.31432;G0:=9.80665;TEMP(H,F1,T);
R7:=LN(1X+R2*ARCTG(C(1)/R2*375*(1+.5*-6*375!2.5)))*.434295;
C(0)=28.82678;C(1)=-7.40066*-2;C(2)=-1.19407*-2;C(3)=4.91103*-4;
C(4)=-8.21805*-6;C(5)=1.07561*-5;C(6)=-6.97444*-7;R2:=0;
_FOR I =NM_STEP 1_UNTIL NS_DO _BEGIN _IF I≠NM_THEN S:=Z[I]-Z[I-1]*.5;
_IF Z[I]≤100_THEN _BEGIN M:=M1:=C(0);_FOR J:=1_STEP 1_UNTIL 6_DO
_BEGIN M:=M+C(J)*(Z[I]-90)!J;_IF I≠NM_THEN M1:=M1+C(J)*
(S-90)!J_END ;_IF I≠NM_THEN R2:=R2+(M1*G0*I1+S/R3)
((-2))/(KA*(T[I]+T[I-1]*.5)*(Z[I]-Z[I-1]));
P0:=3.46*-9*183*M/(T[I]*28.82)*EXP(-R2);N:=6.02257*13*
PD/M*-10;R1:=M/28.96;O(1):=2*N*(1-R1);O2(I):=N*(R1*
(1+.20955)-1);N2(I)=7811*N*R1;HE(I):=.61471*-5*R1*N;
_IF Z[I]=100_THEN _BEGIN I1:=I;R2:=0;R3:=2*R4*(1-R1);
R6:=.61471*-5*R1*N;R4:=N*(R1*(1+.20955)-1);R5:=.7811*R1*N
_END _END _ELSE _BEGIN R2:=R2+IG0*I1+S/R3)((-2))/
(KA*(T[I]+T[I-1]*.5)*(Z[I]-Z[I-1]));S:=T[I1]/T[I];
O(1):=R3*S*EXP(-16*R2);O2(I):=R4*S*EXP(-31.9988*R2);N2(I):=R5*S*
EXP(-28.0134*R2);HE(I):=R6*S1.62*EXP(-4.0026*R2);_END _END
R1:=101(73.13-39.4*R7+.5*R712);_IF Z[NB]≥500_THEN _BEGIN

```

```

_FOR I:=NM,1+1_WHILE Z[I]1<500_DO I1:=1;_FOR I:=I1+1_STEP 1
_UNTIL NB_DO _BEGIN R2:=Z[I]1;_IF R2=500_THEN AH[I]1:=R1_ELSE
AH[I]1:=R1*EXP((500-R2)*G0/(KA*T[I]1*(1+R2/R3)
*(1+500/R3)))_END ;_END _ELSE J1:=NB;_FOR I:=I1_STEP -1
_UNTIL 1_DO _BEGIN _IF J=NB_THEN _BEGIN R3:=500;R4:=R1;
R5:=101R7_END _ELSE _BEGIN R3:=Z[I+1]1;R4:=AH[I+1]1;R5:=T[I+1]1_END
AH[I]1:=R4*EXP((R3-Z[I]1)/(KA*(R5+T[I]1)*.5)*G0*
(1+(R3+Z[I]1)*.5/R3))(-2))_END ;TEMP(14.08,F1,A);TEMP(2.87,F1,B);
_FOR J:=NM_STEP 1_UNTIL NS_DO KT[I]1:=(A[I]1+B[I]1)*.5;
TEMP(14.08,0,A);TEMP(2.87,0,B);
_FOR I:=NM_STEP 1_UNTIL NS_DO KT[I]1:=ABS(KT[I]1-(A[I]1+B[I]1)/2)*.00024;
_FOR I:=NM_STEP 1_UNTIL NS_DO _BEGIN
ПЛ[I]1:=O[I]1*16+O2[I]1*32+N2[I]1*28*HE[I]1*4;
A[I]1:=ПЛ[I]1/(O[I]1+O2[I]1+N2[I]1+HE[I]1)_END
_FOR I:=NM_STEP 1_UNTIL NS_DO
_BEGIN J:=J;LB;R2:=ПЛ[J]1/ПЛ[I]1;_IF R2>100_THEN _BEGIN
R3:=ПЛ[J+1]1/ПЛ[I]1;R4:=A[J]1;R5:=A[J+1]1;R1:=R5+(R4-R5)*(100-R3)/
(R2-R3)_END _ELSE _BEGIN J:=J-1;_IF J>NM_THEN _BEGIN _IF Z[J]1>90
_THEN _GOTO LB_END ;R1:=28.83_END ;R2:=.4342995;O[I]1:=101(R2*
LN(O[I]1)+KT[I]1*(16-R1));O2[I]1:=101(R2*LN(O2[I]1)+KT[I]1*(32-R1));
N2[I]1:=101(R2*LN(N2[I]1)+KT[I]1*(28-R1));HE[I]1:=101(R2*LN(HE[I]1)+
KT[I]1*(4-R1));_END ;_IF NS<NB_THEN _BEGIN _FOR I:=NS+1_STEP 1_UNTIL NB
_DO _BEGIN R2:=G0*R3=R3/(KA*T[NS]1*(1/(R3+Z[I]1))-1/(R3+Z0));
O[I]1:=O[NS]1*EXP(16*R2);O2[I]1:=O2[NS]1*EXP(32*R2);N2[I]1:=N2[NS]1*
EXP(28*R2);HE[I]1:=HE[NS]1*EXP(4*R2)_END _END
P1:=6370;P:=1;NS:=NB;_IF J:=F1=R;DE:=DE=R;
_FOR I:=1_STEP 1_UNTIL NS_DO Z[I]1:=Z[I]1+P1;
CS:=SIN((H-6)*0.2617994)*CDS(FJ)*CDS(DE)+SIN(FI)*SIN(IDEI);
RP:J:=2*SN:=1-CS*CS;_IF CS<0_THEN _BEGIN R:=w12;
_FOR I:=1_STEP 1_UNTIL NS_DO _BEGIN J:=J+1;S:=Z[I]1=SQR(SN);

```

```

_IF S>P1_THEN _GOTO DP_ELSE Q1111:=Q2111:=Q3111:=0_END ;_GOTO PP_END
DP:_FOR I:=1_STEP 1_UNTIL NS_DO _BEGIN _IF P=3_THEN A111:=N2111;
_IF P=2_THEN A111:=Q2111;_IF P=1_THEN A111:=0(1)_END
_FOR I:=J-1_STEP 1_UNTIL NS_DO B111:=_IF A111>0_THEN LN(A111)_ELSE 0;
_FOR I1:=J-1_STEP 1_UNTIL NS-1_DO _BEGIN S:=0;R2:=SN*(Z111)12;
_FOR I:=NS-1_STEP -1_UNTIL I1_DO _BEGIN R1:=Z11112-R2;
_IF R1#0_THEN R1:=SQRT(R1);_IF A111+1=0_THEN S:=0_ELSE
S:=S+(A111-A111+1)/(B111-B111+1)*(SQRT(Z111+1)12-R2)-R1,_END
Q31111=S_END ;Q31NS1:=Q31NS-11;_IF CS<0_THEN
_GOTO RS_ELSE _BEGIN R:=W5;_GOTO KP_END
RS:_FOR I:=J-1_STEP 1_UNTIL NS_DO Q3111:=Q3111*W-7;
R0:=_IF P=1_THEN 2.04_ELSE _IF P=2_THEN 5.53.11_ELSE 2.07.12;
_FOR I:=J-1_STEP 1_UNTIL NS_DO _BEGIN R2:=SN*(Z111)12;R4:=SQRT(R2);
_IF R4<Z111_THEN R3:=R5*EXP((P1-R4)/5.46);
_FOR I1:=1_STEP 1_UNTIL NS-1_DO _IF R4>Z111^R4<2 I1+1_THEN _BEGIN
R7:=(R4-Z111)/(Z111+1)-Z111;R6:=_IF A111+1=0_THEN
A111/A111-1_ELSE A111+1/A111;
R3:=A111*W-7*R61R7_END ;R6:=_IF R3=0_THEN 0_ELSE A111*W-7/R3;
R1:=A111*W-7;Q3111:=_IF R6=1_THEN Q3111_ELSE _IF R6=0_THEN 0
_ELSE Q3111-2*(R1-R3)/LN(R6)*Z111=CS_END
KP:_FOR I:=1_STEP 1_UNTIL NS_DO _BEGIN _IF P=2_THEN Q2111:=Q3111;
_IF P=1_THEN Q1111:=Q3111_END ;P:=P+1;_IF P<3_THEN _GOTO RP;
_FOR I:=1_STEP 1_UNTIL NS_DO _BEGIN R1:=R2:=R3:=0;R7:=R*W-17;
_FOR I1:=1_STEP 1_UNTIL KM_DO _BEGIN TAY:=Q3111*R7*SJ3111+
Q2111*R7*SJ2111+Q1111*R7*SJ1111;
R6:=EXP(-TAY);QU3:=N2111*S13111=R6;R3:=R3+QU3;
QU2:=Q2111*S12111=R6;R2:=R2+QU2QU1:=Q1111*S11111=R6;
R1:=R1+QU1;_END ;Q3111:=_IF Q3111=0_THEN 0_ELSE R3;
Q2111:=_IF Q2111=0_THEN 0_ELSE R2;Q1111:=_IF Q1111=0_THEN 0_ELSE R1;
W1:_END ;PP:=_FOR I:=1_STEP 1_UNTIL NS_DO Z111:=Z111-P1;PQ:_END-END MOD;

```

```

_PROCEdURE TPACCA(TP,KTT,TOT,Ф1,Л1,Ф2,Л2,W,D,ГOД,
ФТ,LT,YI,FE,FF2,HF2,FE3);
_VALUE TP,KTT,TOT,Ф1,Л1,Ф2,Л2,W,D,ГOД;_REAL Ф1,Л1,Ф2,Л2,W;
_INTEGER TP,KTT,TOT,D,ГOД;_ARRAY ФТ,LT,YI,FE,FF2,HF2,FE3;
_BEGIN _INTEGER ЧА,ЧГ,С,М,Л,К,ВРЕ,Т1,Т2,Т3,ТЗ,ТТ,ПВ,Ј,НМЕС,ЧАС,ЦЕЛ,ПW,
Ш,INTERPOL,КГА,ППИ;_REAL DSK,НК,V1,ДЛ,W1,W2,WH,ВWС,DE;
INPUT(INTERPOL,НК);_IF INTERPOL=1_THEN INPUT(W1,W2);ПВ:=1;ППИ:=0;
WH:=W;ЧА:=11;ЧГ:=5;ТТ:=24;КГА:=8;ВWС:=300;
НМЕС:=ENTIER(D/32)+1;V1:=TAN(.4101)*
SIN((D-80)*6.28318/365.);DE:=ДЛ:=ARCTG(V1)*57.3;
OUTPUT('/', 'Z-40.02B',Ф1,Л1,Ф2,Л2,W,D,ГOД,НМЕС,ДЛ,'2/');
_BEGIN _ARRAY V[1:TP,1:KTT,1:ЧГ],F,DF,К,ФИ,ЛЯМ[1:TP,1:KTT];
_ARRAY EОФ[1:ЧГ,1:ТТ],АК[1:ЧГ,1:ЧА];
_PROCEdURE П(X);_ARRAY X;_BEGIN OUTPUT('/', '230.05B',X,'/')_END X;
_PROCEdURE ИНТЕРПОЛАК(ЧГМ,ЧАН,АКМ);_VALUE ЧГМ,ЧАН;_INTEGER ЧГМ,ЧАН;
_BEGIN _INTEGER К,С;_REAL КDW;_ARRAY А1,А2[1:ЧГМ,1:ЧАН];INPUT(А1,А2);
КDW:=(WH-W1)/(W2-W1);_FOR К:=1_STEP 1_UNTIL ЧГМ_DO
_FOR С:=1_STEP 1_UNTIL ЧАН_DO АКМ[К,С]:=А1[К,С]+(А2[К,С]-А1[К,С])*КDW;
MARG(0,128,0.5,0,0);OUTPUT('X');_IF ППИ=1_THEN _BEGIN
OUTPUT('Т', 'ПОЛУЧЕННЫЕ ИНТЕРПОЛЯЦИИЕ КОЭФ.РЯДА ЧЕБЫШЕВА', '/');
_FOR К:=1_STEP 1_UNTIL ЧГМ_DO _BEGIN
OUTPUT('Т', 'N ГАРМОНИКИ=', '220',К, '/');
_FOR С:=1_STEP 1_UNTIL ЧАН_DO OUTPUT('E-.60w+0DB',АКМ[К,С]);
OUTPUT('/', '_END _END ППИ;OUTPUT('/', '_END ПРОЦ ИНТЕРПОЛАК;
_PROCEdURE ФИЛР2(КТР,КТ,ДСК,НК,ФИ1,ЛЯ1,ФИ2,ЛЯ2,ФФ,Л);
_VALUE КТР,КТ,ФИ1,ЛЯ1,ФИ2,ЛЯ2;_INTEGER КТР,КТ;_REAL ДСК,НК,
ФИ1,ЛЯ1,ФИ2,ЛЯ2;_ARRAY ФФ,Л;_BEGIN _INTEGER I,JP,J,NNI
_REAL S,SK,DS,DSJ,MP,ФИН,ФИК,ЛЯМ,ЛЯК,ТЭТАJ,ДЛЯ,ДЛЯJ;
_REAL А,ВJ,КОС,КОСА,КОСТИ,КОСТК,КОСН,КОСТJ,КОСДЛЯ,КОСДЛЯJ,КОСВJ,КОСДСJ;
_REAL СИНА,СИНТН,СИНТК,СИНДСJ,СИНМ,СИНТJ,

```

```

СИНОЛЯ, СИНОЛЯУ TGA, TGOЛЯУ, TGVJ;
_REAL СИН, ЧИС, ЗНА; _ARRAY ОЛЯУМ(2:КТ), ТЭТА, ЛЯМБДА, ВВ, Ф(1:КТР, 1:КТ);
NN:=КТ-1; S:=0.01745; MARG(14, 100, 14, 5, 0, 0);
OUTPUT('T', 'ЧИСЛО ОТРЕЗКОВ НА ТРАССЕ', 'Z30', NN, '//');
OUTPUT('T', 'ЧИСЛО ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТРАСС', 'Z0', КТР, '//');
OUTPUT('T', 'РАССТОЯНИЕ В КМ МЕЖДУ СОСЕДНИМИ ТРАССАМИ', 'Z40', NN, '//');
OUTPUT('T', 'КООРДИНАТЫ НАЧАЛЬНОЙ И КОНЕЧНОЙ ТОЧЕК ТРАССЫ', '5В');
OUTPUT('Z-30.D55В', ФИ1, ЛЯ1, ФИ2, ЛЯ2, '//');
_IF (ЛЯ1<ЛЯ2^ABS(ЛЯ2-ЛЯ1)<180)^(ЛЯ1>ЛЯ2^ABS(ЛЯ2-ЛЯ1)>180)_THEN
  BEGIN ЛЯН:=ЛЯ1*S; ЛЯК:=ЛЯ2*S; ФИН:=ФИ1*S; ФИК:=ФИ2*S _END _ELSE
  BEGIN ЛЯН:=ЛЯ2*S; ЛЯК:=ЛЯ1*S; ФИН:=ФИ2*S; ФИК:=ФИ1*S _END
ОЛЯ:=_IF ABS(ЛЯК-ЛЯН)<3.1416 _THEN (ЛЯК-ЛЯН) _ELSE (3.1416+2+ЛЯК-ЛЯН);
КОСТН:=SIN(ФИН); КОСТК:=SIN(ФИК); КОСДЛЯ:=COS(ОЛЯ);
СИНТН:=COS(ФИН); СИНТК:=COS(ФИК); СИНОЛЯ:=SIN(ОЛЯ);
КОС:=КОСТН*КОСТК+СИНТН*СИНТК*КОСДЛЯ;
S:=ARCSIN(SQRT(1-КОС^2)); _IF КОС<0 _THEN S:=3.1416-S;
DS:=S/NN; SK:=S*3438*1.853; DSK:=SK/NN;
OUTPUT('T', 'ДЛИНА ТРАССЫ В КМ', 'Z50.D', SK, '//');
OUTPUT('T', 'ДЛИНА В КМ ОТРЕЗКА ТРАССЫ', 'Z50.D', DSK, '//');
ЧИС:=СИНТК*СИНОЛЯ; ЗНА=СИНТН*КОСТК-КОСТН*СИНТК*КОСДЛЯ;
TGA:=_IF ЗНА<0 _THEN ЧИС/ЗНА _ELSE 1; А:=_IF ЗНА=0 _THEN 1.5708 _ELSE
_IF TGA<0 _THEN (3.1416-АРСТАН(ABS(TGA))) _ELSE
_IF TGA=0^ФИН>ФИК _THEN 3.1416 _ELSE АРСТАН(TGA);
СИНА:=SIN(А); КОСА:=COS(А); I:=(КТР-1)/2;
ТЭТА[I, 1]:=1.5708-ФИН; ТЭТА[I, NN+1]:=1.5708-ФИК;
ЛЯМБДА[I, 1]:=ЛЯН; ЛЯМБДА[I, NN+1]:=ЛЯК;
_FOR J:=2 _STEP 1 _UNTIL NN _DO _BEGIN DSJ:=OS*(J-1);
СИНДСJ:=SIN(DSJ); КОСДСJ:=COS(DSJ);
КОС:=КОСДСJ*КОСТН+СИНДСJ*СИНТН*КОСА;
ЧИС:=ARCSIN(SQRT(1-КОС^2)); ТЭТАJ:=_IF КОС<0 _THEN 3.1416-ЧИС _ELSE ЧИС;

```

```

ТЭТА[1,J) =ТЭТАJ;ЧИС:=СИНДСJ*СИНА;
ЗНА:=КОСДСJ*СИНТН-СИНДСJ*КОСТН*КОСА;
ТГДЛЯJ:=_IF ЗНА#0_THEN ЧИС/ЗНА_ELSE 1;
ДЛЯJ:=_IF ЗНА=0_THEN 1.5708_ELSE _IF А=0^А=3.1416_THEN 0_ELSE
_IF ТГДЛЯJ<0_THEN (3.1416-АРСТАН(ABS(ТГДЛЯJ)))_ELSE АРСТАН(ТГДЛЯJ);
ДЛЯJM[1,J):=ДЛЯJ;ЛРМБДА[1,J):=ЛЯН+ДЛЯJ;
_IF ЛРМБДА[1,J)>6.2832_THEN ЛЯМБДА[1,J):=ЛЯМБДА[1,J]-6.2832;
_END ЦИКЛАJ;ДЛЯJМІКТІ:=ДЛЯJ;_IF КТР=1_THEN _GOTO КОНЕЦ;
ВВ[1,1):=ABS(1.5708-А);ВВ[1,1):=А;ВВ[КТР,1):=3.1416-ВВ[1,1);
_FOR J:=2_STEP 1_UNTIL КТ_DO _BEGIN ДСJ:=ДС*J-1;ДЛЯJ:=ДЛЯJM[1,J);
СИНДЛЯJ:=SIN(ДЛЯJ);КОСДЛЯJ:=COS(ДЛЯJ);
СИНТJ:=SIN(ТЭТА[1,J));КОСТJ:=COS(ТЭТА[1,J));
ЧИС:=СИНТН*СИНДЛЯJ;ЗНА:=КОСТН*СИНТJ-СИНТН*КОСТJ*КОСДЛЯJ;
ТГВJ:=_IF ЗНА#0_THEN ЧИС/ЗНА_ELSE 1;
ВJ:=_IF ЗНА=0_THEN 1.5708_ELSE _IF (ТГВJ<0^А=3.1416)_THEN
(3.1416-АРСТАН(ABS(ТГВJ)))_ELSE _IF А=0_THEN 3.1416_ELSE АРСТАН(ТГВJ);
ВВ[1,J):=ВJ;_FOR ІР:=1_STEP 2_UNTIL КТР_DO _BEGIN
ВВ[ІР,J):=_IF ІР=1_THEN ABS(1.5708-ВJ)_ELSE (3.1416-ВВ[1,J));
_END ІР;_END J;НР:=НК/(3438*1.853);КОСН:=COS(НР);СИНН:=SIN(НР);
_FOR J:=1_STEP 1_UNTIL КТ_DO _BEGIN
КОСТJ:=COS(ТЭТА[1,J));СИНТJ:=SIN(ТЭТА[1,J));
_FOR ІР:=1_STEP 2_UNTIL КТР_DO _BEGIN КОСВJ:=COS(ВВ[ІР,J));
КОС:=КОСН*КОСТJ+СИНН*СИНТJ*КОСВJ;
ЧИС:=ARCSIN(SQRT(1-КОСТ2));ТЭТАJ:=_IF КОС<0_THEN 3.1416-ЧИС_ELSE ЧИС;
ТЭТА[ІР,J):=ТЭТАJ;ЧИС:=СИНН*SIN(ВВ[ІР,J));
ЗНА:=КОСН*СИНТJ-СИНН*КОСТJ*КОСВJ;
ТГДЛЯJ:=_IF ABS(ЗНА)<0.00001_THEN 1_ELSE ЧИС/ЗНА;
ДЛЯJ:=_IF ТГДЛЯJ=1_THEN 1.5708_ELSE _IF (ВВ[1,J)>1.5707^ВВ[1,J)<1.5709
_THEN 0_ELSE _IF ТГДЛЯJ<-2*3_THEN (3.1416-АРСТАН(ABS(ТГДЛЯJ)))
_ELSE АРСТАН(ТГДЛЯJ);_IF J=1_THEN _BEGIN ЛЯМБДА[ІР,J):=_IF (А<1.5708

```

```

 $\wedge A \neq 0 \wedge BB(I, J) \geq 1.5708) \vee (A > 1.5708 \wedge A \neq 3.1416 \wedge BB(I, J) \leq 1.5708) \vee$ 
 $(A = 0 \wedge I \neq 1) \vee (A = 3.1416 \wedge I \neq 1)$  THEN (ЛЯМБДА[I, J] * ДЛЯ J)
ELSE IF A = 1.5708 THEN ЛЯМБДА[I, J] ELSE (ЛЯМБДА[I, J] - ДЛЯ J) END
ELSE BEGIN ЛЯМБДА[I, J] := IF (BB[I, J] > 1.5708  $\wedge$  BB[I, J]  $\neq$  3.1416  $\wedge$ 
BB[I, J]  $\geq$  1.5708)  $\vee$  (BB[I, J] < 1.5708  $\wedge$  BB[I, J]  $\neq$  0  $\wedge$  BB[I, J]  $\leq$  1.5708)  $\vee$ 
BB[I, J] = 3.1416  $\wedge$  I  $\neq$  1)  $\vee$  (BB[I, J] = 0  $\wedge$  I  $\neq$  1) THEN (ЛЯМБДА[I, J] + ДЛЯ J)
ELSE IF BB[I, J] = 1.5708 THEN ЛЯМБДА[I, J] ELSE (ЛЯМБДА[I, J] - ДЛЯ J) END
IF ЛЯМБДА[I, J] < 0 THEN ЛЯМБДА[I, J] := 6.2832 + ЛЯМБДА[I, J];
IF ЛЯМБДА[I, J] > 6.2832 THEN ЛЯМБДА[I, J] := ЛЯМБДА[I, J] - 6.2832;
END I; END J; КОНЕЦ; FOR I := 1 STEP 1 UNTIL КТР DO
FOR J := 1 STEP 1 UNTIL КТ DO BEGIN Ф[I, J] := (90 - ТЭТА[I, J] * 57.3);
ФФ[I, J] := 1.5708 - ТЭТА[I, J]; Л[I, J] := ЛЯМБДА[I, J] * 57.3; END;
OUTPUT('Т', 'ШИРОТЫ ДОЛГОТЫ ТОЧЕК В ГРАДУСАХ', '/');
FOR J := 1 STEP 1 UNTIL КТ DO IF КТР = 1 THEN BEGIN ФТ[J] := Ф[1, J];
ЛТ[J] := Л[1, J] END ELSE BEGIN ФТ[J] := Ф[2, J]; ЛТ[J] := Л[2, J] END
IF КТР = 1 THEN GOTO PASS; OUTPUT('13В', 'Т', 'Ф', '39В', 'Т', 'Л', '/');
FOR J := 1 STEP 1 UNTIL КТ DO OUTPUT('Z-20.05В', Ф[1, J],
Ф[2, J], Ф[3, J], '10В', 'Z-30.04В', Л[1, J], Л[2, J], Л[3, J], '/');
GOTO FINISH; PASS: OUTPUT('Т', 'Ф = ', '/', 'Z-20.05В', Ф);
OUTPUT('Т', 'Е = ', '/'); Л(Л); FINISH; END ФИЛЯ;
PROCEDURE ФОР(ЧТР, ЧТО, ТО, ПВ, ИНТЕРПОЛ, ДЕЛ, ФИ, ЛЯМ, ЕОФ, АК);
VALUE ЧТР, ЧТО, ТО, ПВ, ИНТЕРПОЛ, ДЕЛ, ФИ, ЛЯМ; REAL ДЕЛ;
INTEGER ЧТР, ЧТО, ТО, ПВ, ИНТЕРПОЛ; ARRAY ФИ, ЛЯМ, ЕОФ, АК;
BEGIN REAL ДЛЗ, ПР1, ПР2, В, С, СУ1, СУ2, СЗ10, СИНО, КОСД,
КОСХИ, КОСХИМ, ОФЕ, ФЕ1, ФЕ2, ВГР, НГР;
ARRAY Z, ZM(1:ЧТР, 1:ЧТО); ПР1 := 0; ПР2 := 10; ПВ := 1; ВГР := 1.5708; НГР := -1.5708
BEGIN PROCEDURE КОЭФФИЦИЕНТ; BEGIN
ОФЕ := IF ПВ = 0 THEN 0 ELSE (6W - 4 * 9W - 5 * ZM[L, K] * 57.3) * W;
В := 2.8 * SIN((ZM[L, K] + 0.47119) / 1.3) + ОФЕ;
С := LN(В / 0.8) / ((6 + ZM[L, K] * 57.3) / 2) END ПРОЦ КОЭФ;

```

```

PROCEDURE ИНТЕРПОЛЯЦИЯ;
  BEGIN КОЭФФИЦИЕНТЫ; F(L,K):=0.6*B*EXP(-C*(57.3*(Z(L,K)-ZM(L,K)))^2);
  FE1:=F(L,K); E(L,K):=0; _FOR M:=1-STEP 1-UNTIL ЧГ_ДО
  _IF ПВ=0-THEN F(L,K):=F(L,K)+V(L,K,M)*EOФ(M,T2)-ELSE
  F(L,K):=F(L,K)+V(L,K,M)*(EOФ(M,T2)+(EOФ(M,ЧАС)-EOФ(M,T2))*ДЛ);
  F(L,K):=FE1+(F(L,K)-FE1)*Z(L,K)*5.73-END ИНТЕРПОЛЯЦИИ;
  INPUT(EOФ); _IF ИНТЕРПОЛ=0-THEN INPUT(АК)-ELSE ИНТЕРПОЛАК(ЧГ,ЧА,АК);
  _FOR M:=1-STEP 1-UNTIL ЧГ_ДО _FOR L:=1-STEP 1-UNTIL ЧТР_ДО
  _FOR K:=1-STEP 1-UNTIL ЧТО_ДО _BEGIN
  _IF M=1-THEN (KIL,K):=1.5708-ARCSIN(2*(ФМ(L,K)-НГР)/(ВГР-НГР)-1);
  I:=AK(M,I); _FOR S=2-STEP 1-UNTIL ЧА_ДО
  I:=V1+AK(M,S)*COS((S-1)*(KIL,K));
  V(L,K,M):=V1;-END K,L,M;MARG(14,100,14,5,0,0);
  OUTPUT('T','N МЕСЯЧА=', '220',NMЕС, '2/', 'Т', 'ГДД=', '240',ГДД, '4/');
  CZ10:=SIN(.17453); CИHD:=SIN(DEЛ)KOCД:=COS(DEЛ); J:=(ЧТР+1)*.5; T1:=T0;
  _FOR L:=1-STEP 1-UNTIL ЧТР_ДО _FOR K:=1-STEP 1-UNTIL ЧТО_ДО
  DSK:=DSK*.01; HK:=HK*.01; C:=.01745; DEЛ:=DEЛ=C; ПР1:=ПР1=C; ПР2:=ПР2=C;
  _BEGIN ЦЕЛ:=ENTER(ЛРМ(L,K)/15); ДЛ:=ЛРМ(L,K)/15-ЦЕЛ;
  ЧАС:=T1*ЦЕЛ+1; _IF ЧАС>24-THEN ЧАС:=ЧАС-24;
  T2:=-_IF ПВ=0-THEN T1-ELSE _IF ЧАС=1-THEN 24-ELSE ЧАС-1;
  SU1:=SIN(ФМ(L,K))*CИHD; SU2:=COS(ФМ(L,K))*KOCД;
  V1:=-_IF ПВ=0-THEN T2-ELSE T2+ДЛ; КОСХИ:=SU1+SU2*SIN((V1-6)*0.2618);
  Z1L,K:=ARCSIN(КОСХИ); _IF T1=T0-THEN _BEGIN КОСХИМ:=SU1+SU2;
  ZM(L,K):=ARCSIN(КОСХИМ); _END ЕСЛИТ1; _IF Z(L,K)≤ПР1-THEN
  _BEGIN КОЭФФИЦИЕНТЫ; F(L,K):=0.6*B*EXP(-C*(57.3*(Z1L,K)-ZM(L,K)))^2);
  _END _ELSE _IF Z1L,K≥ПР2-THEN _BEGIN F(L,K):=0;
  _FOR M:=1-STEP 1-UNTIL ЧГ_ДО
  _IF ПВ=0-THEN F(L,K):=F(L,K)+V1L,K,M)*EOФ(M,T2)-ELSE
  F(L,K):=F1L,K+V(L,K,M)*(EOФ(M,T2)+(EOФ(M,ЧАС1-EOФ(M,T2))*ДЛ);
  _END _ELSE ИНТЕРПОЛЯЦИЯ; _END K,L)

```



```

_FOR L:=1_STEP 1_UNTIL ЧТО_ДО _FOR K:=1_STEP 1_UNTIL ЧТО_ДО
DF(L,K1):=-IF (L=JAK=ЧТО)_THEN (F(J,K+1)-F(J,K))/DSK_ELSE
_IF (L=JAK=ЧТО)_THEN 0_ELSE (F(L,K)-F(L,K1))/HK;BPE:=T1-1;
_IF ПВ=0_THEN OUTPUT('T','ВРЕМЯ МЕСТНОЕ В ЧАСАХ','Z2D',BPE,'/');
_ELSE OUTPUT('T','ВРЕМЯ МИРОВОЕ В ЧАСАХ','Z2D',BPE,'/');
_IF ЧТР=1_THEN _GOTO PASS10;OUTPUT('13B','T','F','39B','T','DF','/');
_FOR K:=1_STEP 1_UNTIL ЧТО_ДО
OUTPUT('Z3D.D3B',F(1,K),F(2,K),F(3,K),'10B','Z-2D.2D4B',
DF(1,K),DF(2,K),DF(3,K),'/');OUTPUT('/');_GOTO FINISH1
PASS10;OUTPUT('T','F=', '/','Z3D.D3B',F,'/');
OUTPUT('T','DF=', '/','Z-2D.2D4B',DF,'/');FINISH1:
L:=1;_IF ЧТР=3_THEN L:=2;V1:=ARCS(N(.1));_FOR K:=1_STEP 1_UNTIL ЧТО_ДО
_BEGIN FE(K):=F(L,K);Z(L,K):=V1;ИНТЕРПОЛЯЦИЯ;
FE3(K1:=F(L,K1)_END ;_END _END FOE;
_PROCEDURE FHPF2(ЧТР,ЧТО,ТО,ПВ,INTERPOL,ФН,ПЯМ,ЕДФ,АК);
_VALUE ЧТР,ЧТО,ТО,ПВ,INTERPOL,ФН,ПЯМ;_INTEGER ЧТР,ЧТО,ТО,ПВ,INTERPOL;
_ARRAY ФН,ПЯМ,ЕДФ,АК;_BEGIN _ARRAY ХМ(1:ЧТР,1:ЧТО);
_PROCEDURE НАКЛОПЕНИЕ(КТР,КТ,КГА,ВЫС,ФФ,Л,ХХ);
_VALUE КТР,КТ,КГА,ВЫС,ФФ,Л;_INTEGER КТР,КТ,КГА;
_REAL ВЫС;_ARRAY ФФ,Л,ХХ;
_BEGIN _REAL ВЫ1,ВЫ2,ТЭТАБ,ЛЯМБАА,S,СЛЯМБ,СЛЯМБ,R1,Х,У,Z;
_INTEGER М,N,J,1;_ARRAY УУ11:КТР,1:КТ1,Г,Н,Г1,Н1,ОР1,Р1(1:КГА,0:КГА);
_REAL _PROCEDURE P(N,M,ТЕТА);_VALUE N,M,ТЕТА;_REAL ТЕТА;_INTEGER N,M;
_BEGIN _REAL С,ЭПСИЛОИ2,ЭПСИЛОИМ,ЕН,S;_INTEGER I;
_IF N=0^M=0_THEN _BEGIN P:=1;_GO TO КОНЕЦ_END
ЭПСИЛОИМ:=-_IF M=0_THEN 1_ELSE SQRT(2);
ЕН:=-_IF M=0_THEN 1_ELSE SIN(ТЕТА)/M;
ЭПСИЛОИ2:=-_IF N=M_THEN (2^M-1)/SQRT(N+1)
_ELSE (2^N-1)/SQRT((N+M)*(N-M));
_FOR I:=1_STEP 1_UNTIL N-M-1_ДО

```

```

ЭПСИЛОМ2:=ЭПСИЛОМ2*(2*(N-I)-1)/SQRT((N+M-I)*(N-M-I));
_FOR I:=N-M_STEP 1_UNTIL N-1_DO
_IF I#0_THEN ЭПСИЛОМ2:=ЭПСИЛОМ2*(2*(N-I)-1)/SQRT(N+M-I);
_FOR I=N_STEP 1_UNTIL N+M-1_DO
ЭПСИЛОМ2:=ЭПСИЛОМ2/SQRT(N+M-I);
S:=-_IF N=M_THEN 1_ELSE COS(ТЕТА)I(N-M);
C:=-_IF (N-M)<2_THEN 0_ELSE -(N-M)*(N-M-1)/(2*(2*N-1));
S:=S+C*COS(ТЕТА)I(N-M-2);
_FOR I:=2_STEP 2_UNTIL (N-M)_DO _BEGIN
C:=-C*(N-M-I)*(N-M-I-1)/((2+I)*(2*N-I-1));
S:=S+C*COS(ТЕТА)I(N-M-2-I)_END
P:=ЭПСИЛОМ2*ЭПСИЛОММ*EN*S;КОНЕЦ;_END
_REAL _PROCEDURE DP(N,M,ТЕТА);_VALUE N,M,ТЕТА;
_REAL ТЭТА;_INTEGER N,M;_BEGIN
DP:=_IF M=0_THEN N*(COS(ТЕТА)*P(N,0,ТЕТА)-P(N-1,0,ТЕТА))/SIN(ТЕТА)
_ELSE M*COS(ТЕТА)*P(N,M,ТЕТА)/SIN(ТЕТА)
-(_IF N=M_THEN 0_ELSE P(N,M+1,ТЕТА)*SQRT((N-M)*(N+M+1)))
_END ;INPUT(G,H,G1,H1);ВЫ1:=6378/(ВЫС+6378);
_FOR J:=1_STEP 1_UNTIL КТР_DO _FOR I:=1_STEP 1_UNTIL КТ_DO _BEGIN
ТЭТА6:=1.5708-ФИJ,I;S:=SIN(ТЭТА6);
ЛЯМБДА =LJ,I*0.01745;X:=Y:=Z:=0;
_FOR N=1_STEP 1_UNTIL КГА_DO _BEGIN ВЫ2:=ВЫ1I(N+2);
_FOR M:=0_STEP 1_UNTIL N_DO _BEGIN _IF J=1^I=1_THEN
_BEGIN GIN,M):=GIN,M)+(ГОД-1965)*G1I(N,M);
HIN,M):=HIN,M)+(ГОД-1965)*H1I(N,M)_END
СЛЯМБ:=SIN(M*ЛЯМБДА);СЛЯМБ:=COS(M*ЛЯМБДА);
R1:=GIN,M)*СЛЯМБ+HIN,M)*СЛЯМБ;
DP1I(N,M):=DP(N,M,ТЭТА6);P1I(N,M)=P(N,M,ТЭТА6);
X:=X+R1*DP1I(N,M)*ВЫ2;Z:=Z-(N+1)*R1*P1I(N,M)*ВЫ2;
Y:=Y+(GIN,M)*СЛЯМБ-HIN,M)*СЛЯМБ)*M/S*P1I(N,M)*ВЫ2;

```

```

_END M1-END N1X:=SQRT(X=X+Y*Y);
Y:=-_IF ABS(X)<0.1_THEN Z/0.1_ELSE Z/X;
Z:=ARCSIN(0.9792*SIN(1.5708-T3TAB)+0.2028*COS(1.5708-T3TAB)
+COS(ПРМБДА-5.079));
XX1J,11:=-_IF ABS(Z)>1.56_THEN Z_ELSE ARCTAN(Y/SQRT(COS(Z)));
YY1J,11:=ARCTG(Y)*57.3;XX1J,11:=XX1J,11*57.3/(-90)_END 1J;
MARG(14,100,14,5,0,0);
OUTPUT('T','ВЫСОТА=',Z3D15B,ВЫС,'T','ГОР=',Z4D,FOA,'2/');
OUTPUT('T','НАКЛОНЕНИЕ В ГРАДУСАХ','2/');
_FOR 1:=1-STEP 1-UNTIL KT_DO Y111:=
_IF KTP=1_THEN YY11,11_ELSE YY(2,11);
_IF KTP=1_THEN_GOTO PASSD1:_FOR 1:=1-STEP 1-UNTIL KT_DO
OUTPUT('Z-2D.05B',YY11,11,YY12,11,YY13,11,'/');
_GOTO FINISHD1;PASSD1:OUTPUT('Z-2D.05B',YY,'2/');FINISHD1:
OUTPUT('T','ПРИБВЕДЕННОЕ К 1 МОДИФИЦИРОВАННОЕ НАКЛОНЕНИЕ','2/');
_IF KTP=1_THEN_GOTO PASSD2:_FOR 1:=1-STEP 1-UNTIL KT_DO
OUTPUT('Z-D.403B',XX11,11,XX(2,11),XX13,11,'/');
_GOTO FINISHD2;PASSD2:OUTPUT('Z-D.403B',XX,'2/');FINISHD2:_END НАКЛОИ;
НАКЛОНЕНИЕ(ЧТР,ЧТО,КРА,ВЫС,ФМ,ПРМ,ХМ);
DSK:=DSK/100;HK:=HK/100;_FOR 1W:=1,2_DO _BEGIN
INPUT(E0Ф);_IF INTERPOL=0_THEN INPUT(AK)_ELSE ИНТЕРПОЛАК(ЧР,ЧА,AK);
_FOR M:=1-STEP 1-UNTIL ЧГ_DO _FOR L:=1-STEP 1-UNTIL ЧТР_DO
_FOR K:=1-STEP 1-UNTIL ЧТО_DO _BEGIN
_IF M=1_THEN 1K(L,K):=1.5708-ARCSIN(XM(L,K));
V1:=AK(M,11);_FOR S:=2-STEP 1-UNTIL ЧА_DO
V1:=V1+AK(M,S)*COS((S-1)*1K(L,K));
V(L,K,M):=V1:_END K,L,M;MARG(14,100,14,5,0,0);
OUTPUT('T','МЕЧРЧ=',Z2D,NMEC,'2/');J:=(ЧТР+1)*.5;T1:=T0;
_FOR M:=1-STEP 1-UNTIL ЧГ_DO _FOR L:=1-STEP 1-UNTIL ЧТР_DO
_FOR K:=1-STEP 1-UNTIL ЧТО_DO _BEGIN

```

```

ЧЕН:=ЕНТ[ЕР(ПРМ[Л,К])/15];ДП:=ПРМ[Л,К]/15-ЧЕН;
I2:=_IF ПВ=0_ТНЕН Т1_ЕLSE Т1+ЧЕН[ЧАС]:=ЧЕН+1;
V1:=_IF Т2>24_ТНЕН ЕОФ[М,Т2-24]_ЕLSE ЕОФ[М,Т2];
Т2:=_IF ПВ=0_ТНЕН Т1_ЕLSE _IF (Т1+ЧАС)>24_ТНЕН
(Т1+ЧАС-24)_ЕLSE (Т1+ЧАС);
_IF М=1_ТНЕН F[Л,К]:=0;
F[Л,К]:=F[Л,К]+V[Л,К,М]*(V1+(ЕОФ[М,Т2]-V1)*ДП)_ЕNД К,Л,М;
_FOR Л:=1_STEP 1_UNTIL ЧТР_ДD _FOR К:=1_STEP 1_UNTIL ЧТО_ДD
D[Л,К1]:=_IF (Л=JAK≠ЧТО)_ТНЕН (F[J,К+1]-F[J,К])/ДСК_ЕLSE
_IF (Л=JAK=ЧТО)_ТНЕН 0_ЕLSE (F[Л,К]-F[J,К1])/НК;ВРЕ:=Т1-1;
_IF ПВ=0_ТНЕН OUTPUT('Т','ВРЕМЯ МЕСТНОЕ В ЧАСАХ','22D',ВРЕ,'/')
_ELSE OUTPUT('Т','ВРЕМЯ МИРОВОЕ В ЧАСАХ','22D',ВРЕ,'/');
_IF ЧТР=1_ТНЕН _GOTO PASSIC;OUTPUT('13B','Т','F','39B','Т','DF','/');
_FOR К:=1_STEP 1_UNTIL ЧТО_ДD
OUTPUT('23D.05B',F[1,К],F[2,К],F[3,К],10B,'2-2D.2D4B',
OF[1,К],DF[2,К],DF[3,К],'/');OUTPUT('/');_GOTO F[NISH1;
PASSIC:OUTPUT('Т','F','/','23D.05B',F,'/');
OUTPUT('Т','DF=','/','2-2D.0D4B',DF,'/');F[NISH1;
_FOR К:=1_STEP 1_UNTIL ЧТО_ДD _IF Ш=1_ТНЕН _BEGIN
FF2[К]:=_IF ЧТР=1_ТНЕН F[1,К]_ЕLSE F[2,К]_ЕNД _ЕLSE
_BEGIN HF2[К]:=_IF ЧТР=1_ТНЕН F[1,К]_ЕLSE F[2,К];
_END _END Ш;ДСК:=ДСК*100;НК:=НК*100_ЕNД ПРОЦ FHPF2;
ФИЛЯ2(ТР,КТТ,ДСК,НК,Ф1,Л1,Ф2,Л2,ФИ,ЛЯМ);
FHPF2[ТР,КТТ,ТОТ,ПВ,{НТЕРПОЛ,ФИ,ЛЯМ,ЕОФ,АК});
FOE(ТР,КТТ,ТОТ,1,0,DE,ФИ,ЛЯМ,ЕОФ,АК);_ЕNД _ЕNД ТРАССЫ;
ТРАССА(ТР,КТТ,ТОТ+1,ФН1,ПР1,ФН2,ПР2,W,D,ГОД,ФТ,ЛТ,УТ,FE,FF2,HF2,FE3);
MARG(0,12B,0,0,0,0);OUTPUT('X');CM:=BM:=1;BO:=0;RR:=.00B31432;MM:=16;
_FOR К:=1_STEP 1_UNTIL КТТ_ДD _BEGIN R5:=FE3[К];R6:=FE[К];R7:=FF2[К];
FE3[К]:=R5*R5*1.24*4;FE[К]:=R6*R6*1.24*4;FF2[К]:=R7*R7*1.24*4;
ПЕЧАТЬ[К,ФТ[К],ЛТ[К],УТ[К],R5,R6,R7,

```

```

FE3(K),FE(K),FF2(K),HF2(K),K,0)-END
R9:=3.14159165/180;K:=0;-FOR W:=1-STEP 1-UNTIL KTT_DO _BEGIN
CU:=-1;FI:=ФТ(Ш1=R9;ЛР:=ЛТ(Ш);R6:=VT(Ш);
SN2:=5(N(R6=R9):2;NOE:=FE(Ш);NM:=FF2(Ш);ZM:=HF2(Ш);
R0:=6357.766;-FOR I:=M0-STEP 1-UNTIL W_DO G(I):=
0.0098665*(R0/(R0+2(I)))2;-IF W=1-THEN ФИ:=DE*R9;
T0:=ЛР*240+3600=T0T;R:=3;-IF NOE>3*5-THEN _GOTO M6;
SCMH:=S(N(F))=5(N(ФИ);SKDC:=CDS(F)*DOS(ФИ);R0:=6356.766;H:=12;R7:=.1
MRQ73(0,ФТ(Ш),DE,H,F,F1,KP1,1,M,Z,TT,ND,MM,FF,АH,NK,Q,QM,NR);
-FOR C:=M0-STEP 1-UNTIL M_DO _BEGIN Q12(I):=Q(I)+QM(I)+NR(I);
-IF (100-F)>20-THEN Q12(I):=.85*Q12(I)-END
M3;HA:=1;T:=T0;H:=T/3600;VS:=D;CS:=S(N((H-6)*0.26(7994)*SKDC+SCMH);
OUTPUT('/',',','T','СКЛОНЕНИЕ,ШИРОТА,ДОЛГОТА,НАЧ ВРЕМЯ В СЕК,
МАГН НАКЛОНЕНИЕ,S(N(I)2,KDCXH','/',',
'2-50.008',DE,ФТ(Ш),ЛР,T0,R6,'E-.50*+008',SN2,CS,'2/');
-IF CS<.05-THEN _BEGIN A:=H;H:=.26(8*ARCS(N((.1-SCMH)/
SKDC)+6)-IF H<12-THEN H:=H+12;
MRQ73(0,ФТ(Ш),DE,H,F,F1,KP1,1,M,Z,TT,ND,MM,FF,АH,NK,Q,QM,NR);
-FOR C:=M0-STEP 1-UNTIL 16_DO -IF R7<QM(C)-THEN
_BEGIN R7:=QM(C);CC:=C-END
Г1 Q(CC)+NR(CC)+R7)/FE3(Ш)12*TT(CC);-IF (100-F)>20-THEN Г1:=Г1*.85;
-FOR I:=M0-STEP 1-UNTIL M_DO B(I):=Г1/TT(I);H:=A-END
MRQ73(0,ФТ(Ш),DE,H,F,F1,KP1,1,M,Z,TT,ND,MM,FF,АH,NK,Q,QM,NR);
-FOR I:=M0-STEP 1-UNTIL M_DO _BEGIN
QM(I):=QM(I)+NR(I);HH(I):=RR*TT(I)/(MM*G(I));
N3(I):=MM(I)+FF(I);NN(I):=ND(I)+АH(I)+N3(I);NR(I):=SQRT(TT(I));
-IF (100-F)>20-THEN _BEGIN Q(I):=Q(I)*.85;QM(I):=QM(I)*.85-END
-IF Z(I)>340-THEN HH(I):=HH(I)*(3+2*(Q(I)+QM(I))/Q12(I));
MM(I):=MM(I)*9*-1D=TT(I)((-0.7)+FF(I)=3.6*-10/TT(I)-END
-FOR I:=M0,I+1-WH(LE Z(I)<340_DO HH(I):=-IF Z(I)<180-THEN 2*HH(I)

```

```

_ELSE HH(I)=(2+(1+2*(Q(I+QM(I))/Q12(I))/16*(Z(I)-100)));
M2:=M0-STEP 1-UNTIL M-DO DD(I):=6*17/NN(I)=NR(I);
R7:=0;_FOR I:=M0+1-STEP 1-UNTIL M-DO _BEGIN R7:=R7+.9*(Z(I)-
Z(I-1))*(1/HH(I)+1/HH(I-1));N4(I):=EXP(1-R7)_END ;N4(M0):=1;
DM:=(IF CS<.07_THEN H8/DD(M)=(Z(M)-Z(M-1))/N4(M)*w5/SN2-ELSE 0;
D0:=(IF HA>0_THEN Q(M0)/MM(M0)_ELSE 0;
_FOR I:=M0+1-STEP 1-UNTIL M-1-DO _BEGIN
R3:=SN2*(DD(I)+1+DD(I))/(Z(I+1)-Z(I-1))*w-5;
R4:=SN2*(DD(I+D0(I)-1))/(Z(I+1)-Z(I-1))*w-5;
R5:=R3/(Z(I+1)-Z(I))*w-5;R6:=R3/(HH(I+1)+HH(I))*w-5;
R7:=R4/(Z(I)-Z(I-1))*w-5;R8:=R4/(HH(I)+HH(I-1))*w-5;
AA(I,1):=R7+R8;AA(I,3):=R5-R6;R2:=R5-R6+R7+R8;
AA(I,2):=R2+MM(I);FF(I):=Q(I)/N4(I)_END ;HA:=-HA;
C:=R1:=KH:=0;NT:=KH:=KH+1;ПРОГОНКА(M,M0,B0,C0,D0,BM,CM,DM,AA,FF,NK);
_FOR I:=M0-STEP 1-UNTIL M-DO N1(I):=NK(I)*N4(I);
R7:=1;_FOR I:=M0-STEP 1-UNTIL M-DO
_IF R7<N1(I)_THEN _BEGIN R7:=N1(I);IV:=1-END ;
R7:=ZM-Z(I*IV);VS:=250;_IF R7<D-THEN VS:=-VS;_IF ABS(R7)>4-THEN _BEGIN
_IF ABS(R7)<5*AKH<4-THEN VS:=VS*.9;
VS:=VS*w-5;_FOR I:=M0+1-STEP 1-UNTIL M-1-DO _BEGIN
AA(I,2):=AA(I,2)-VS/HH(I);_IF VS<0-THEN _BEGIN R3:=VS/(Z(I+1)-Z(I));
AA(I,3):=AA(I,3)-R3;AA(I,2):=AA(I,2)-R3-ELSE _BEGIN
R3:=VS/(Z(I)-Z(I-1));AA(I,1):=AA(I,1)+R3;AA(I,2):=AA(I,2)+R3-ENO _END
_IF KH<100-THEN _GOTO IT-END ;HT:=C:=C+1;_IF K=1-THEN R2:=NM-N1(IV);
_IF CS<.07*ABS(R2)>.1*NM-THEN _BEGIN R5:=NM/N1(IV);DM:=DM+R5;
ПРОГОНКА(M,M0,B0,C0,D0,BM,CM,DM,AA,FF,NK);
_FOR I:=M0-STEP 1-UNTIL M-DO N1(I):=NK(I)*N4(I);
R7:=1;_FOR I:=M0-STEP 1-UNTIL M-DO
_IF R7<N1(I)_THEN _BEGIN R7:=N1(I);IV:=1-END
R2:=NM-N1(IV);_IF ABS(R2)>.1*NM*CS<10-THEN _GOTO HT-END ;

```

```

F1:=F:=MM[IV]/N3[IV];_IF ABS(NM-N1[IV])>.1*NM_THEN
_BEGIN R5:=NM/N1[IV];F1:=F/R5;
_FOR I:=M0+1_STEP 1_UNTIL M-1_DD _BEGIN
R2:=AA[1,2]-MM[1];MM[1]:=F1*N3[1];AA[1,2]:=R2+MM[1]_END
_IF R1<4_THEN _BEGIN R1:=R1+1;_GOTO M1_END _END
R2:=ZM-Z[IV];R7:=N1[IV];OUTPUT('T', 'ПАРАМЕТРЫ КОМПЛЕКСИ',
'Z6DB', C, R1, KH, 'E-D.DD', DDB, R5, R2, R7, F, F1, '/');F:=F1;
K:=K+1;_FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DD _IF ABS(Z[1]-340)<20_THEN R4:=
3*-7=300/(TT[1]*(2+2*(Q[1]+QM[1])/Q12[1]));
_IF CS>.05_THEN _BEGIN R7:=QM[MU];
_FOR I:=M0+1_STEP 1_UNTIL 16_00 _IF R7<QM[1]_THEN
_BEGIN R7:=QM[1];H[1]:=1_END ;A0:=(Q1H1+R7)/NOE12_END
_FOR I:=M0,1+1_WHILE Z[1]<26Q_DD _IF N1[1]<0_THEN N1[1]:=-N1[1];
_FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DD _BEGIN AX;NK[1]:=A;
_IF CS<.05_THEN _BEGIN R7:=12[1]-Z[CC1]*32=G[CC1]/(RR*TT[CC1]);
QM[1]:=QM[1]+B[CC1]*NOE*2*EXP(1-R7-EXP(1-R7))_END
_END ;_FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DD _BEGIN A:=NK[1];
R6:=.5*N1[1];N2[1]:=SQRT((MM[1]*N1[1]+QM[1])/A+R6*R6)-R6_END
_IF CS<.07_THEN _BEGIN _FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DD
_IF N2[1]<N2[1-1]^N2[1]<N2[1+1]
_THEN _BEGIN IV:=1;_GOTO M13_END ;_GOTO M5;M13;R5:=NOE*.5/N2[1]*V1;
_IF R5>1_THEN _BEGIN R4:=Z[IV]-Z[CC1];R7:=Z[IV]+R4;
_FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DD _BEGIN A:=NK[1];
_IF Z[1]<Z[IV]+Z[1]>Z[CC1]_THEN QM[1]:=QM[1]*(2*R5)*((Z[1]-Z[CC1])/R4);
R6:=.5*N1[1];N2[1]:=SQRT((MM[1]*N1[1]+QM[1])/A+R6*R6)-R6_END
_END _END ;M5:_FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DD NN[1]:=N1[1]+N2[1];
_IF Z[1]>Z[IV]+Z[1]<R7_THEN QM[1]:=QM[1]*(2*R5)*((R7-Z[1])/R4);
_FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DD _BEGIN _IF Z[1]<18Q_THEN
R3:=FF[1]:=TT[1];_IF Z[1]>34Q_THEN FF[1]:=TT[1]*2*(1+(Q[1]+
QM[1])/Q12[1]);_IF (Z[1]-340)<10_THEN R5:=FF[1]/R3_END ;

```

```

_FOR I:=M0,I+1_WHILE Z[I]<340_DO _BEGIN
_IF Z[I]>180_THEN FF[I]:=R3-R5*((Z[I]-100)/160)_END
_FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DO _BEGIN N4[I]:=MM[I];NR1[I]:=GE1[I]_END
OUTPUT('2-2D.DDB',H,'T','ЧАС, КОС=', 'E-.5D+20B',CS,'2/');
_IF I=TU_THEN _BEGIN R7:=35;_FDR I:=1_STEP 1_UNTIL 6_DO _BEGIN
R7:=R7+5;NHH3[I]:=5*EXP(0.12*(R7-40))_END ;R0:=NHH3[6];
ЧАСОТА(1,1,6,TG,TT,NHH3,HG,HG,HG,H0);
OUTPUT('T','ВЫСОТЫ 40,45,50,55,60,65км НЕ=');П(NHH3);
OUTPUT('T','ЭФФЕКТИВНАЯ ЧАСТОТА СТОЛКН '1;П(H0)_END
R6:=1/35*LN(NN(M0)/R0);R7:=65;_FDR I:=1_STEP 1_UNTIL 6_DO _BEGIN
R7:=R7+5;NHH3[I]:=R0*EXP(R6*(R7-65))_END
ЧАСОТА(7,1,6,TG,TT,NHH3,HG,HG,HG,H0);
OUTPUT('T','ВЫСОТЫ 70,75,80,85,90,95км НЕ='1;П(NHH3);
OUTPUT('T','ЭФФЕКТИВНАЯ ЧАСТОТА СТОЛКН '1;П(H0);
ЧАСОТА(13,M0,M,TG,FF,NN,HG,M0,MM,GE);
_FDR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DO _BEGIN
R7:=.4343*LN(NN[I]);R2:=1-.183*-6*NN[I];
_IF K=1_THEN _BEGIN РЕЗ(1,21:=NN[I];РЕЗ(1,31:=R7;
РЕЗ(1,41:=GE[I];РЕЗ(1,51:=R2)_END ;_IF K=2_THEN _BEGIN
РЕЗ(1,61:=NN[I];РЕЗ(1,71:=R7;РЕЗ(1,81:=GE[I];
РЕЗ(1,91:=R2)_END ;_IF K=3_THEN _BEGIN РЕЗ(1,101:=NN[I];
РЕЗ(1,111:=R7;РЕЗ(1,121:=GE[I];РЕЗ(1,131:=R2)_END _END
_IF K<RШ<KTI_THEN _GOTO M6_ELSE K:=0;MARO(0,128,0,0,0,0);
OUTPUT('/', 'T','ВЫСОТА КМ НЕ,СМ(-3) LG(НЕ) ЧАСТОТА ЭПСИЛОН
НЕ,СМ(-3) LG(НЕ) ЧАСТОТА ЭПСИЛОН
НЕ,СМ(-3) LG(НЕ) ЧАСТОТА ЭПСИЛОН', '/');
_FOR I:=M0_STEP 1_UNTIL M_DO ПЕЧАТЬ(Z[I],РЕЗ(1,2),РЕЗ(1,31,
РЕЗ(1,41,РЕЗ(1,51,РЕЗ(1,61,РЕЗ(1,71,РЕЗ(1,81,
РЕЗ(1,91,РЕЗ(1,101,РЕЗ(1,111,РЕЗ(1,121,РЕЗ(1,131);
M6:_END _END _END _END ПРОГРАММЫ

```



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена полуэмпирическая ионосферная модель в интервале высот 100–1000 километров. Модель отражает широтно-долготное распределение, высотные вариации и суточный ход электронной концентрации и ионного состава. Она состоит из детерминированной части и эмпирической части, используемой для коррекции. Каждая из них представляет самостоятельный интерес.

Детерминированная часть позволяет моделировать те или иные ионосферные процессы и судить об их роли в ионосфере.

Эмпирическая часть представлена таблицами, определяющими глобальное распределение и суточный ход параметров  $f_oE$ ,  $f_oF2$  и  $h_pF2$ , построенными по мировой сети ионосферных станций вертикального зондирования. Эти таблицы могут быть непосредственно использованы с учетом указанных погрешностей.

Для практического применения модели приводится описание программы расчета  $N(h)$  профилей вдоль заданной трассы распространения радиоволн.

Сравнение данной модели с экспериментом показывает удовлетворительное согласие.

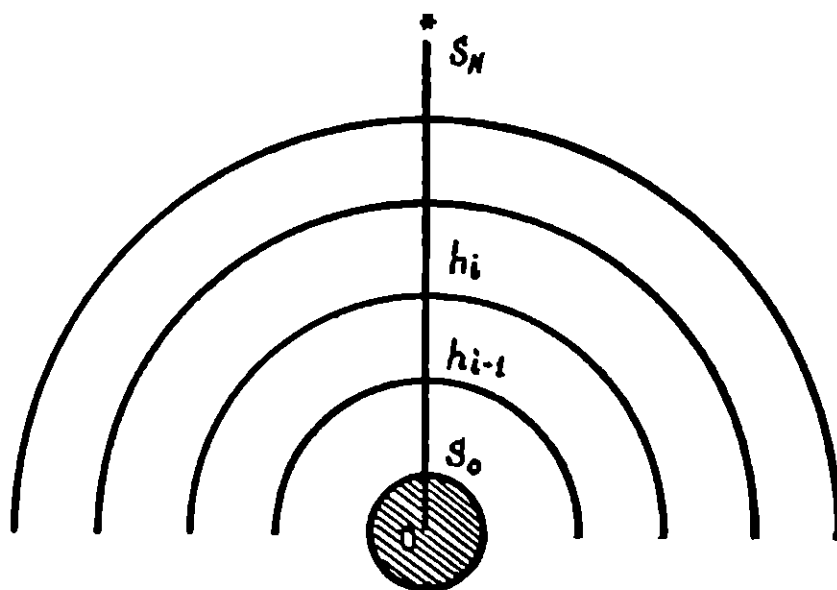


Рис. 1. Определение оптического пути на заданной высоте с учетом сферичности Земли. Зенитный угол Солнца  $\chi = 0$ .

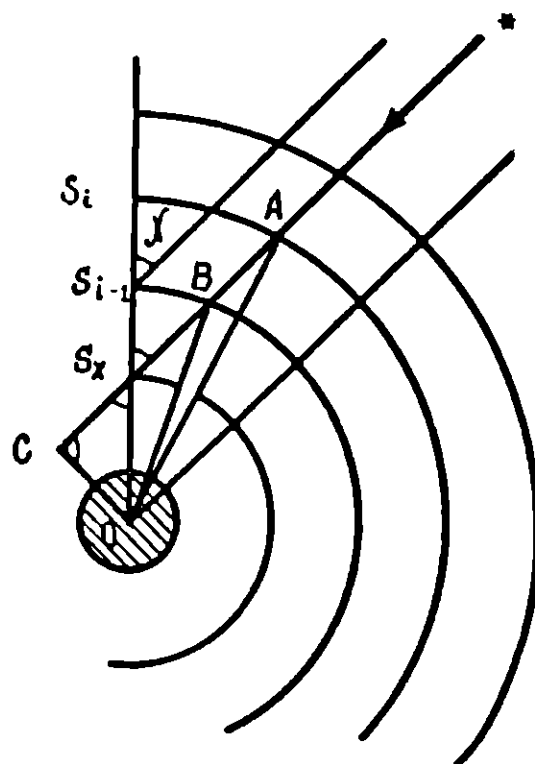


Рис. 2. Определение оптического пути на заданной высоте с учетом сферичности Земли. Зенитный угол Солнца  $\chi < \frac{\pi}{2}$

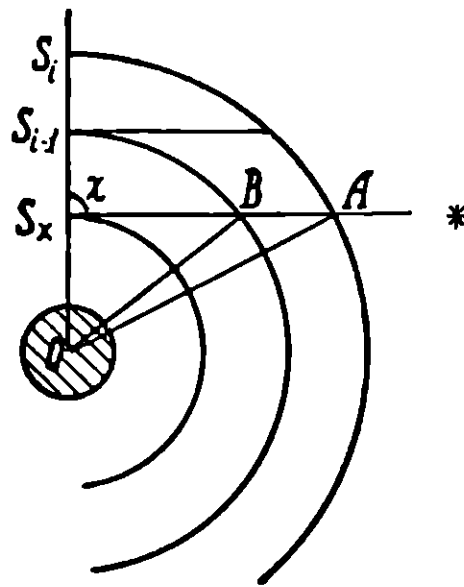


Рис. 3. Определение оптического пути на заданной высоте с учетом сферичности Земли. Зенитный угол Солнца  $x = \frac{\pi}{2}$ .

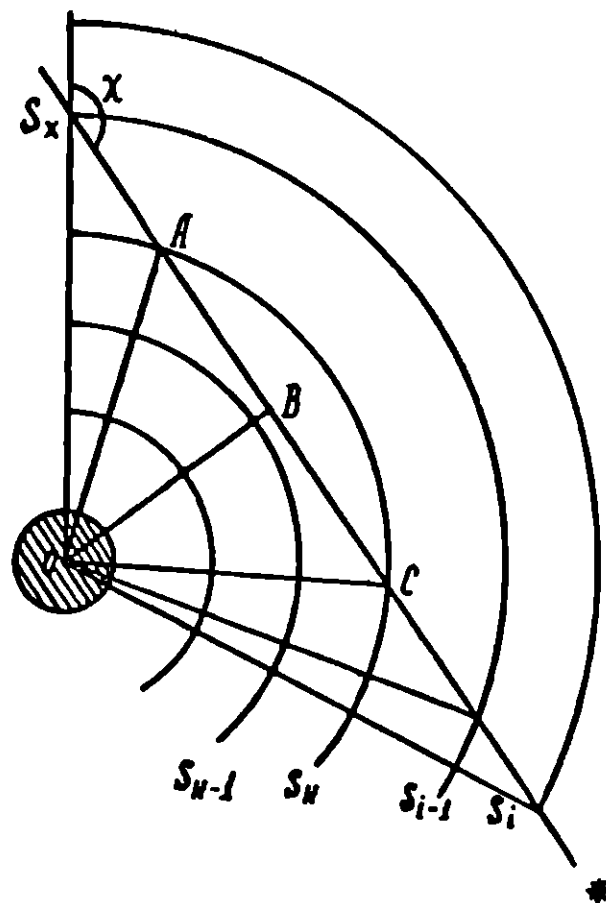


Рис. 4. Определение оптического пути на заданной высоте с учетом сферичности Земли. Зенитный угол Солнца  $x > \frac{\pi}{2}$ .

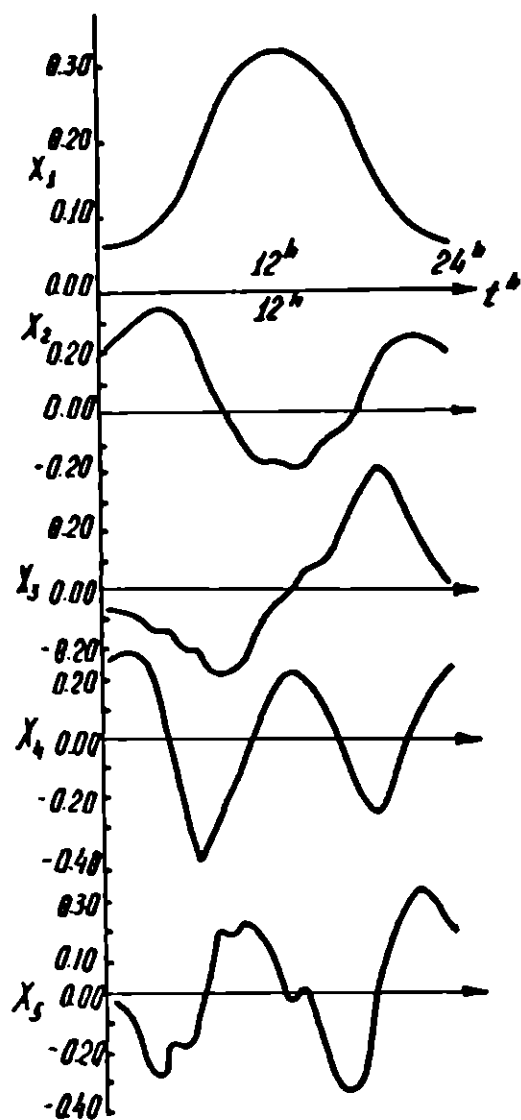


Рис. 5. Естественные ортогональные компоненты поля  $f_0 E$

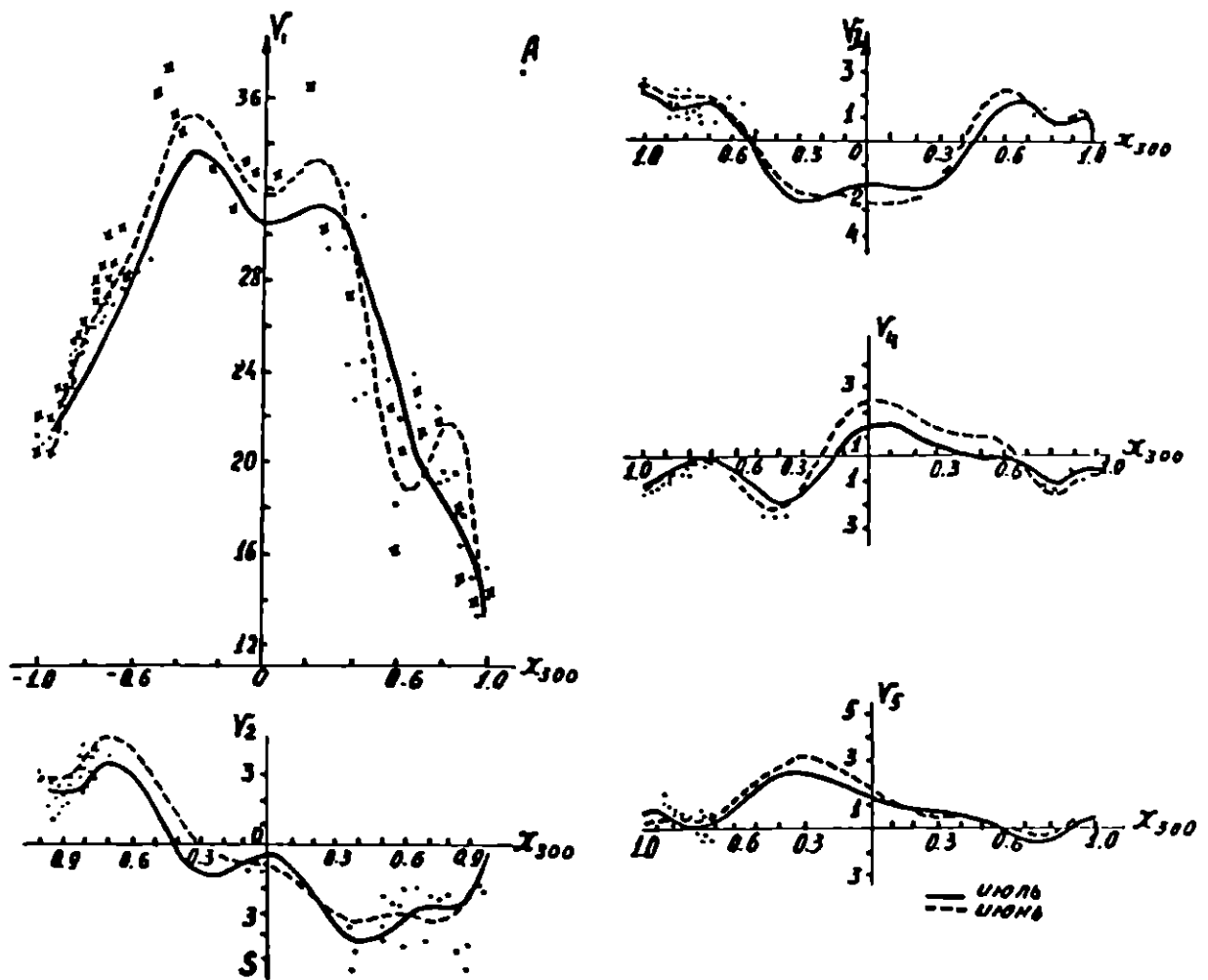


Рис. 6. Зависимость коэффициентов разложения  $f_0^{P2}$  от геомагнитной координаты для июня, июля 1962.

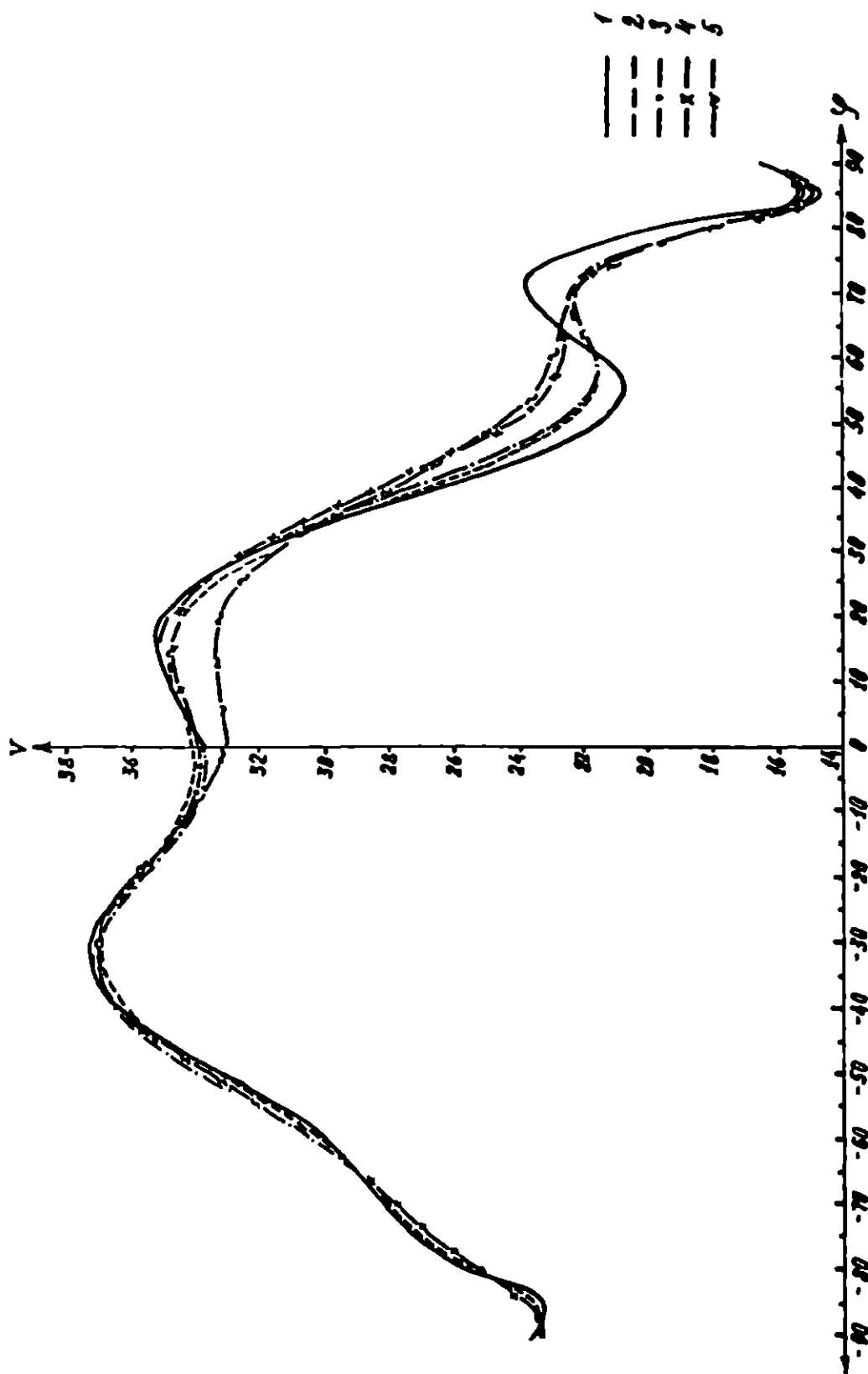


Рис. 7. Изменения координатного хода коэффициента первой гармоники  $f_{P2}$   
при последовательных фильтрациях (июнь 1962 г.)

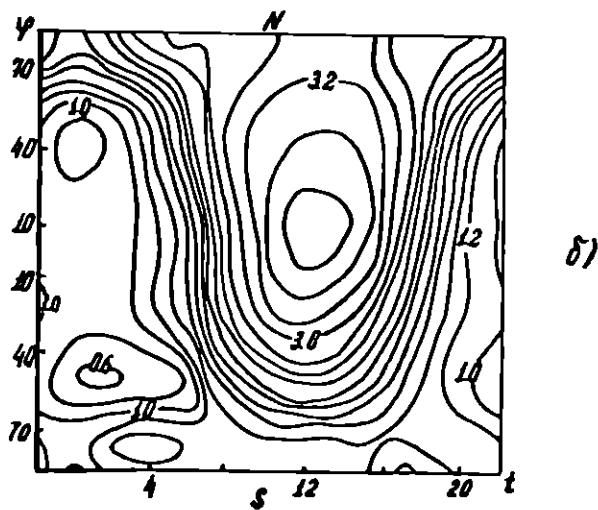
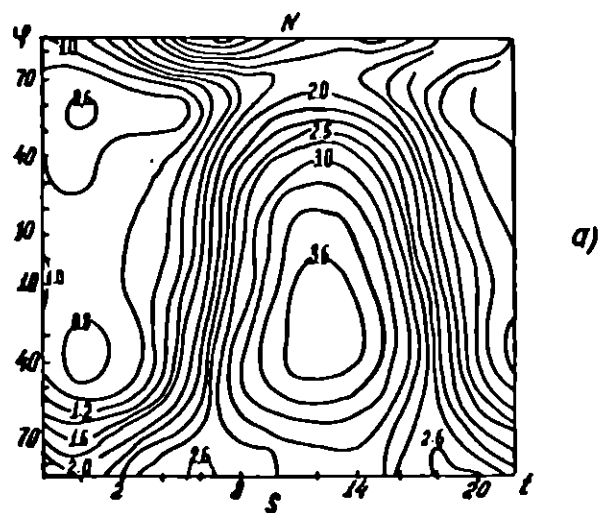


Рис. 8. Карты глобального распределения  $f_0 E$  а) январь 1962 г.  
б) июнь 1962 г.

1962 январь

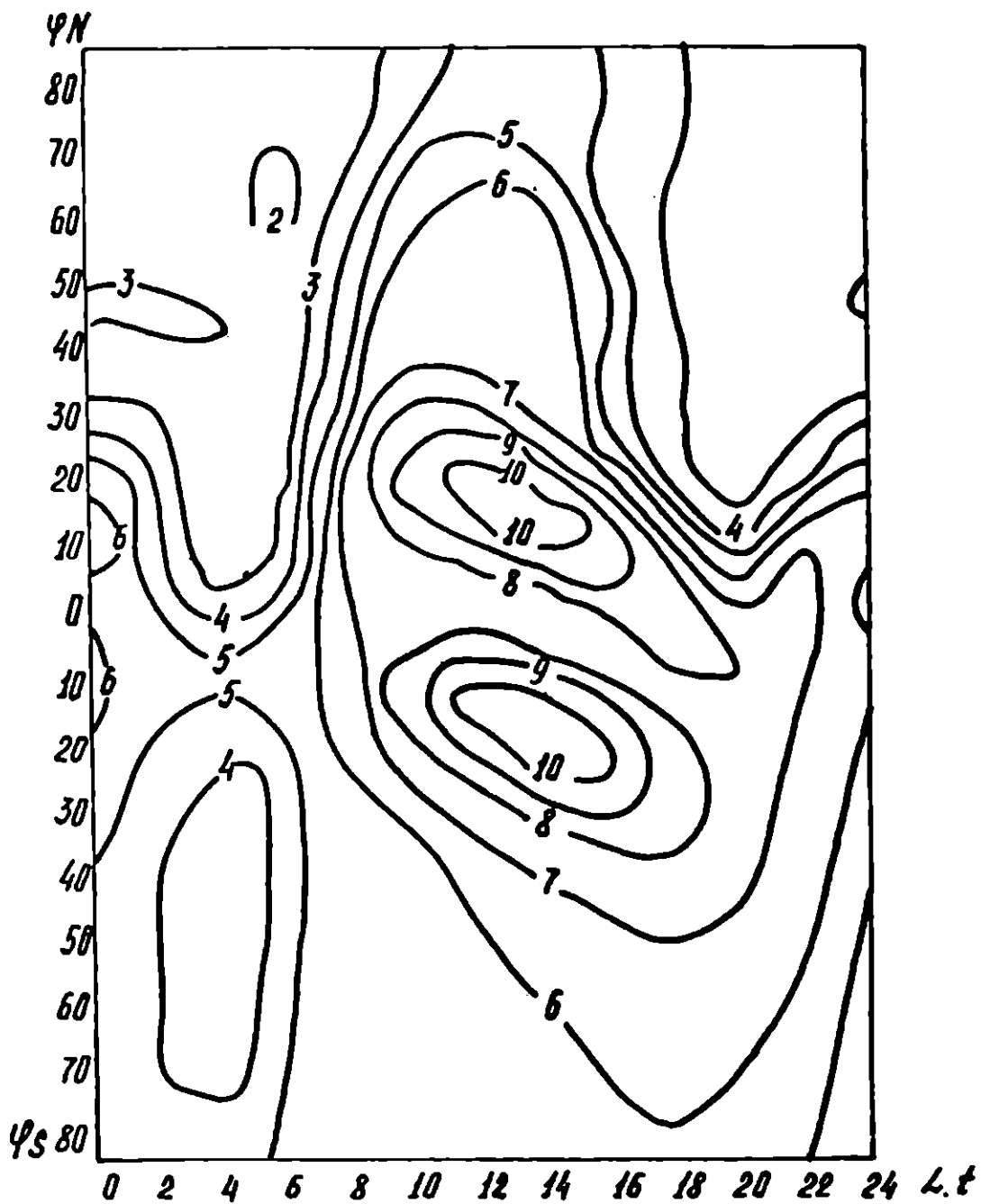


Рис. 9. Карта глобального распределения  $f_oF2$  в географических координатах, январь 1962 г.



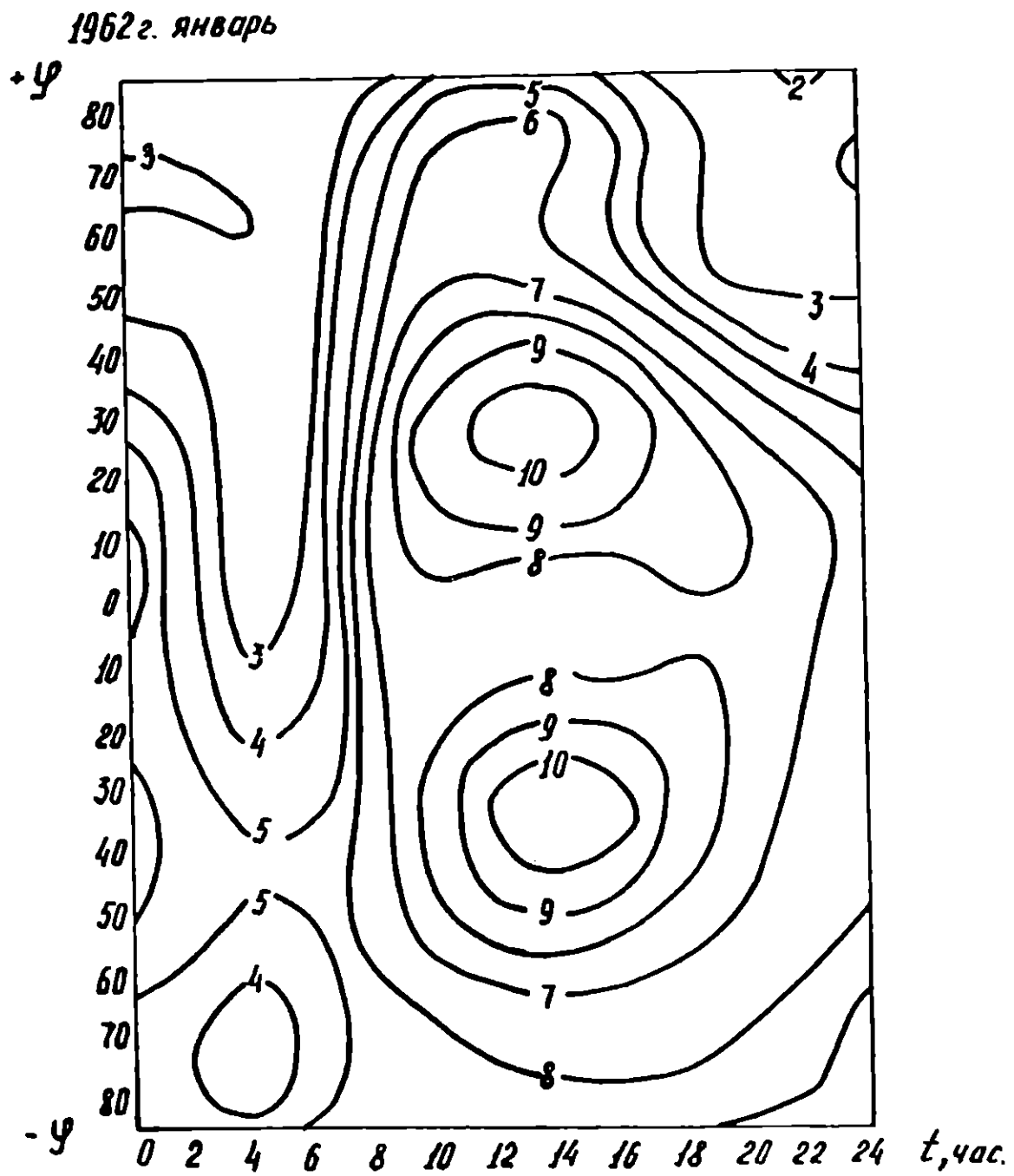


Рис. 10. Карта глобального распределения  $f_oF2$  в геомагнитных координатах, январь 1962 г.

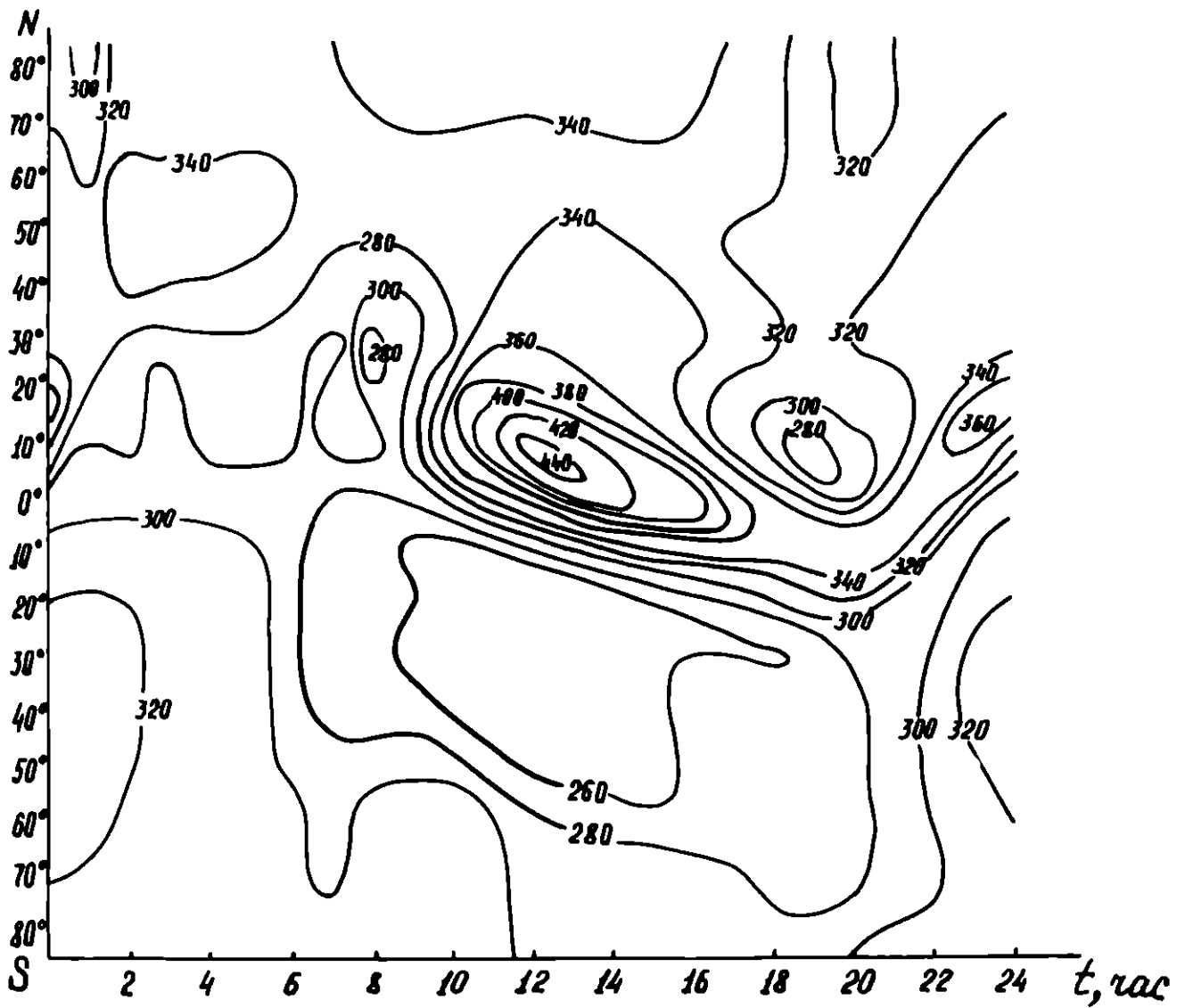


Рис. II. Карта глобального распределения  $h_p F2$  (геомагнитные координаты).

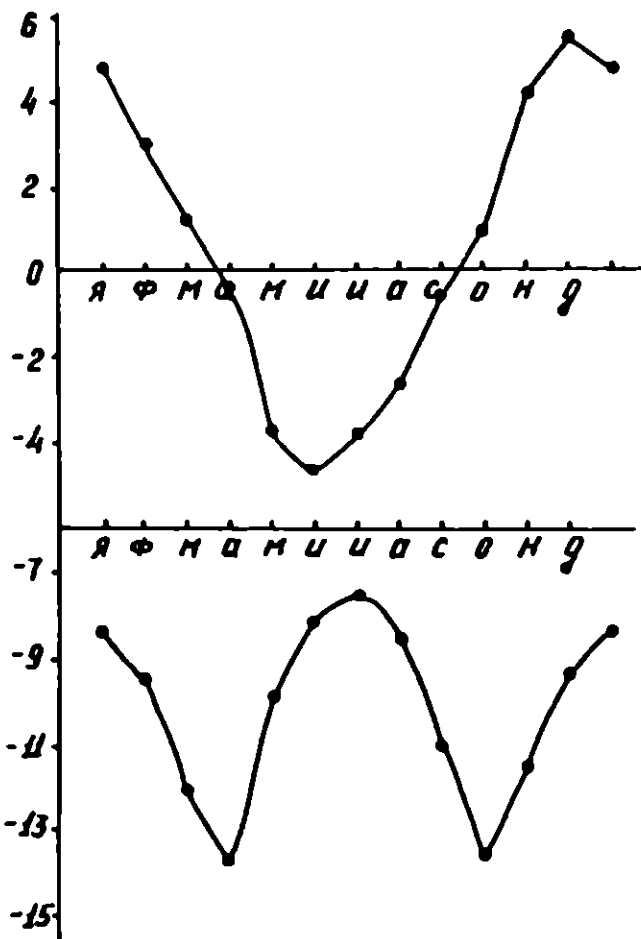
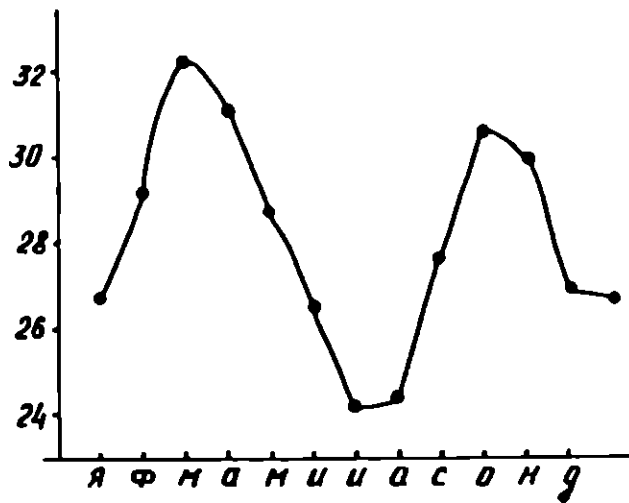


Рис. 12. Сезонный ход коэффициентов полинома Чебышева.  
Первые 3 коэффициента первой гармоники.

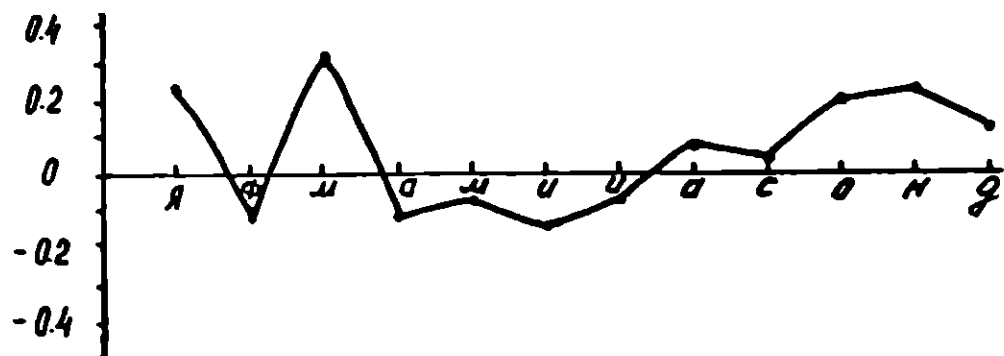


Рис. 13. Сезонный ход коэффициентов полинома Чебышева  $T_5^2$ .  
Десятый коэффициент пятой гармоники.

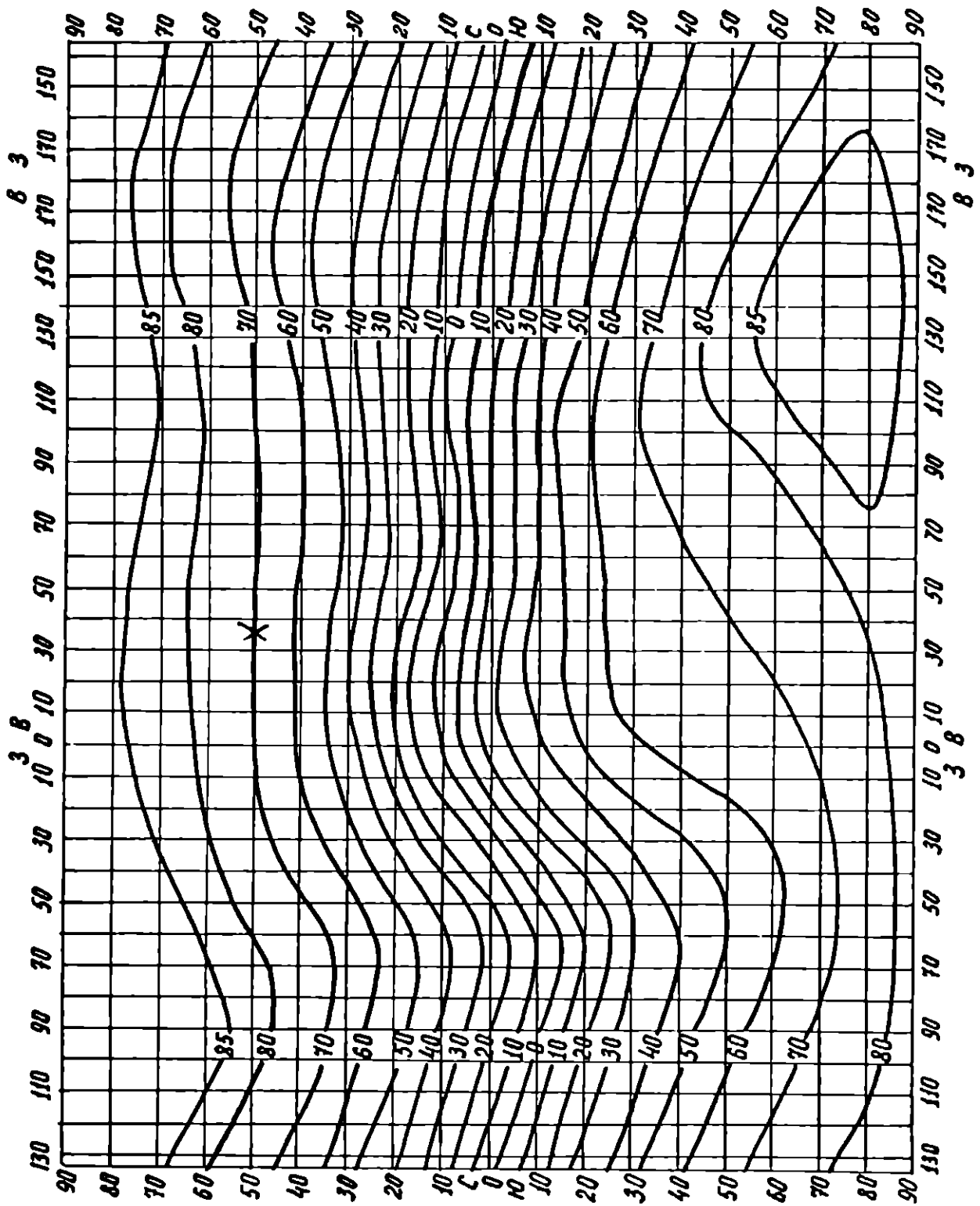


Рис. 14. Карта изолиний модифицированного геомагнитного наклонения.

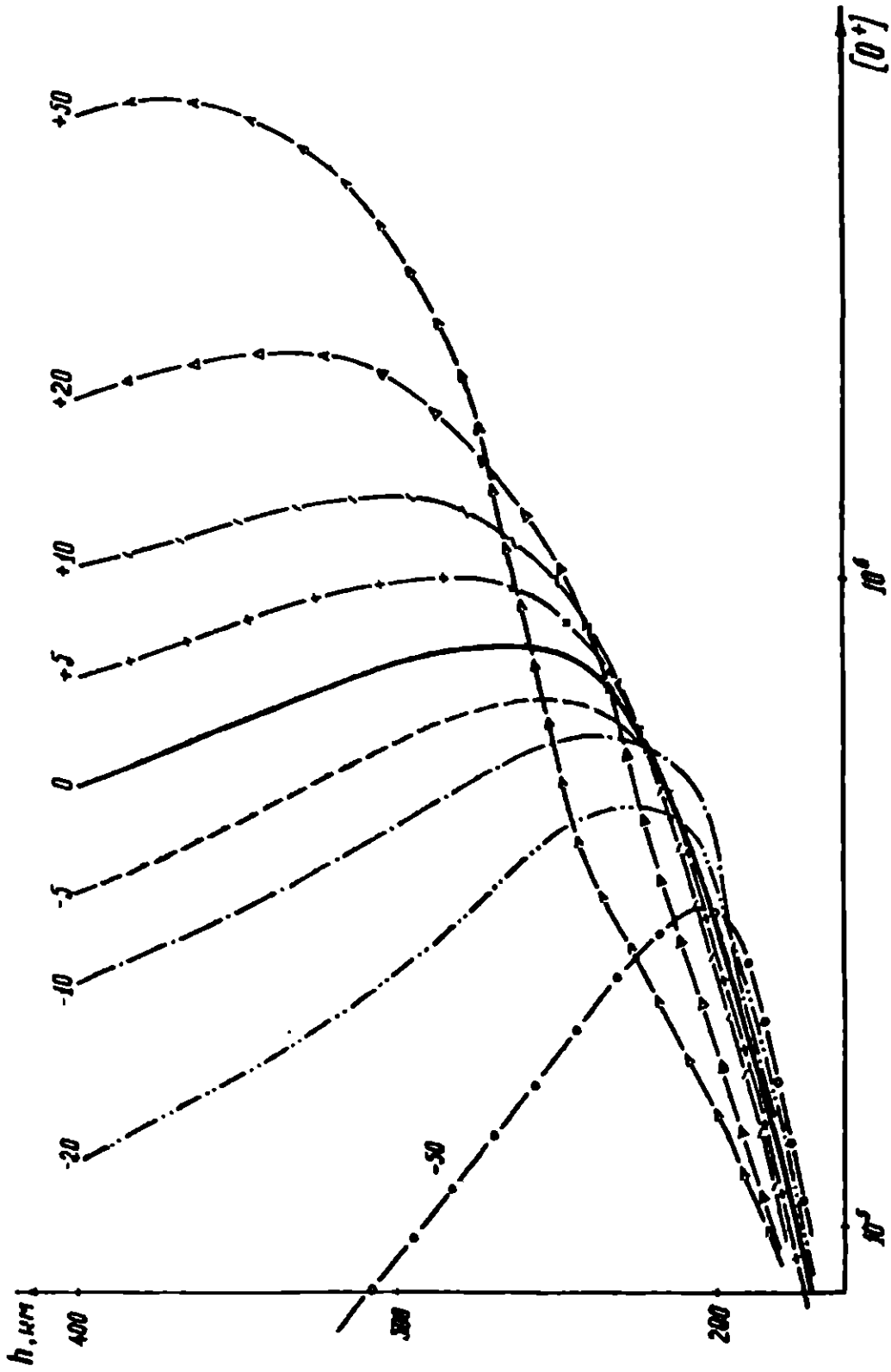


Рис. 15. Влияние скорости ветра  $\mathcal{V}$  на распределение  $O^+(h)$ . О.Уоллопс. Цифры обозначают значения скорости ветра. Знак (-) соответствует движению вниз. 12 часов.

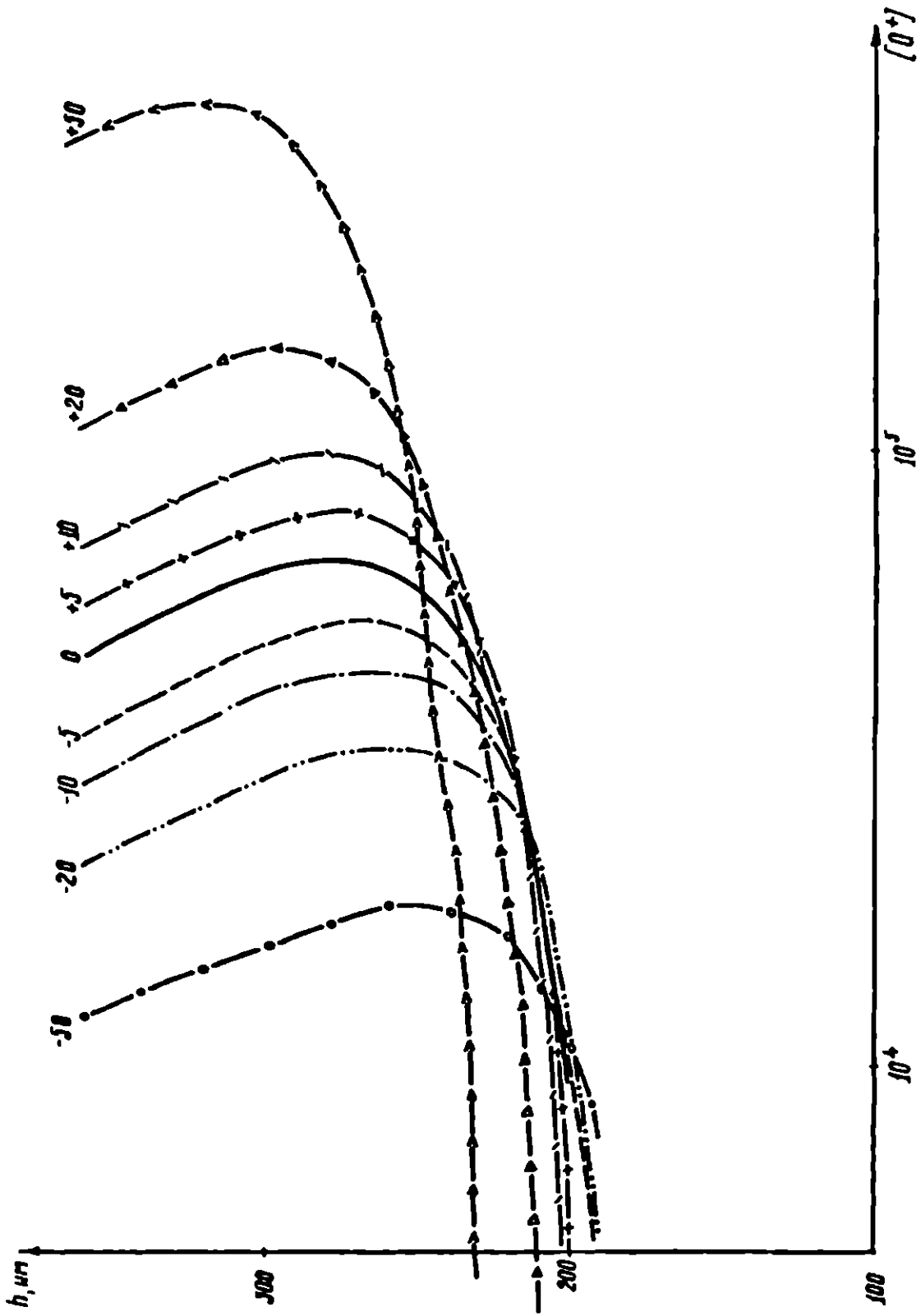


Рис. 16. Влияние скорости ветра  $V$  на распределение  $O^+(h)$ . 0.0010 м/с. Цифры обозначают значения скорости ветра. Знак (-) соответствует движению вниз, 0 часов.

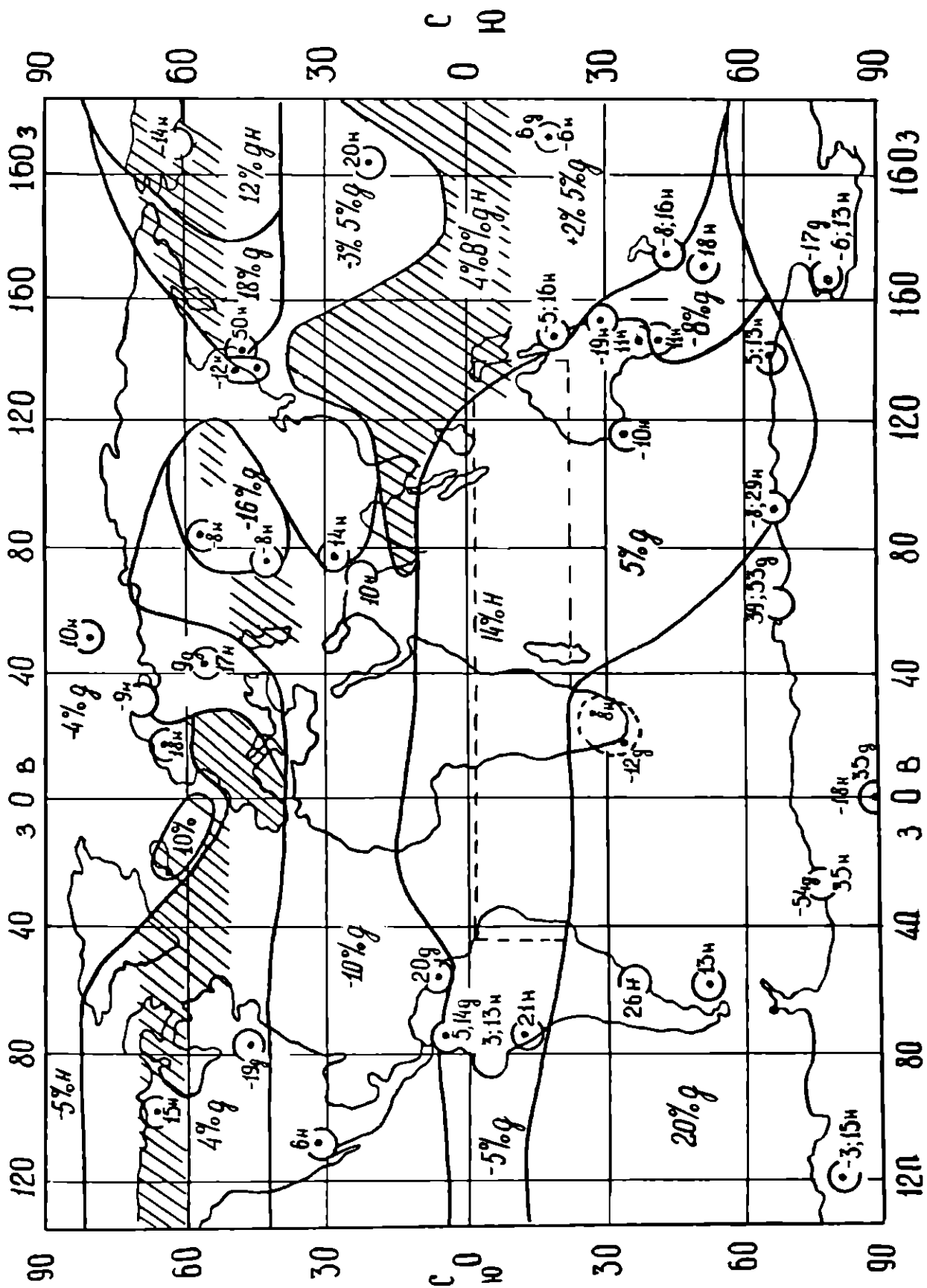


Рис. 17. Распределение величины  $J_{p,p2}$  и  $J_{p,p2}$  для апреля 1962 г.



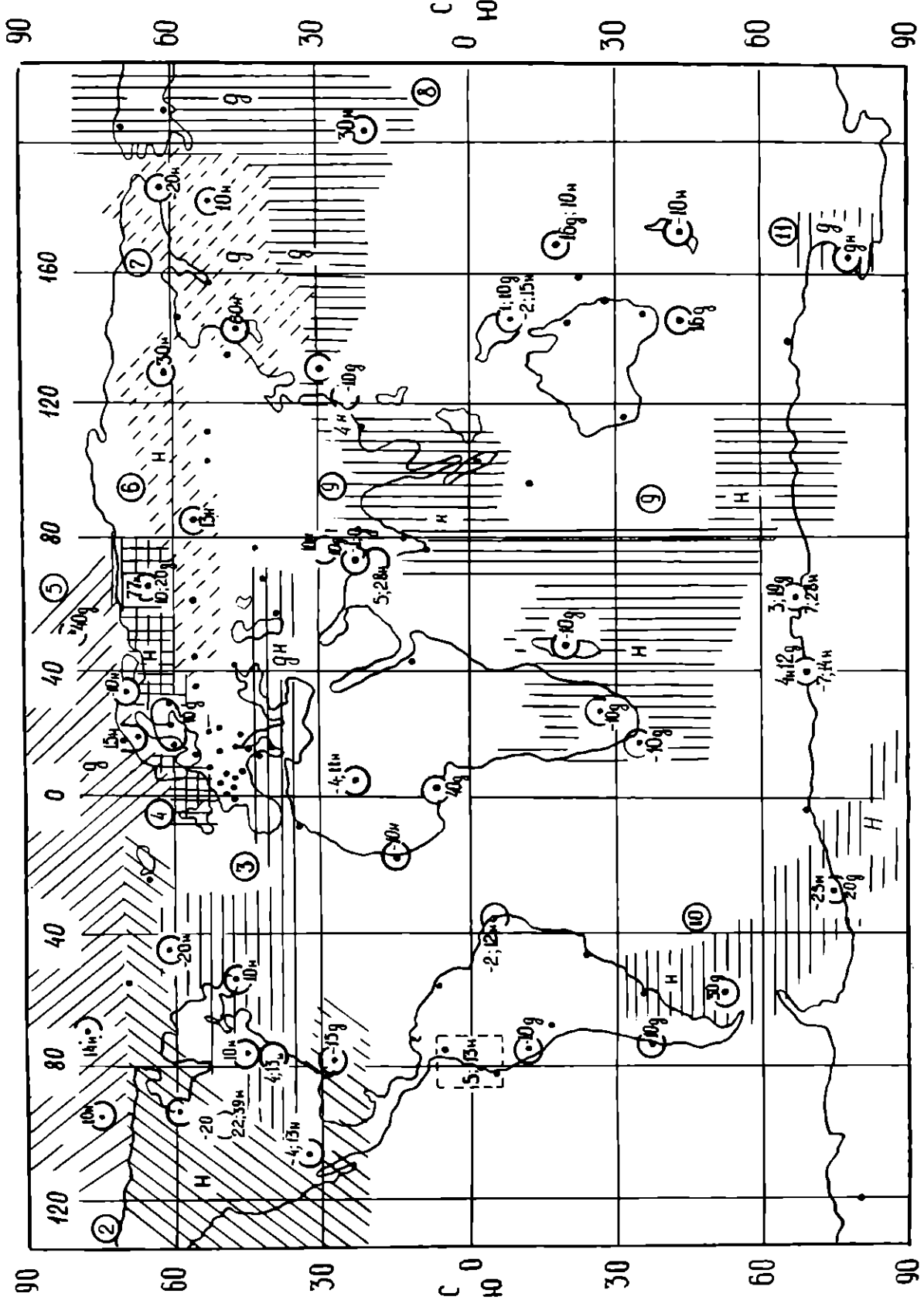


Рис. 18. Карта глобального распределения ошибок прогноза, январь 1962 г.

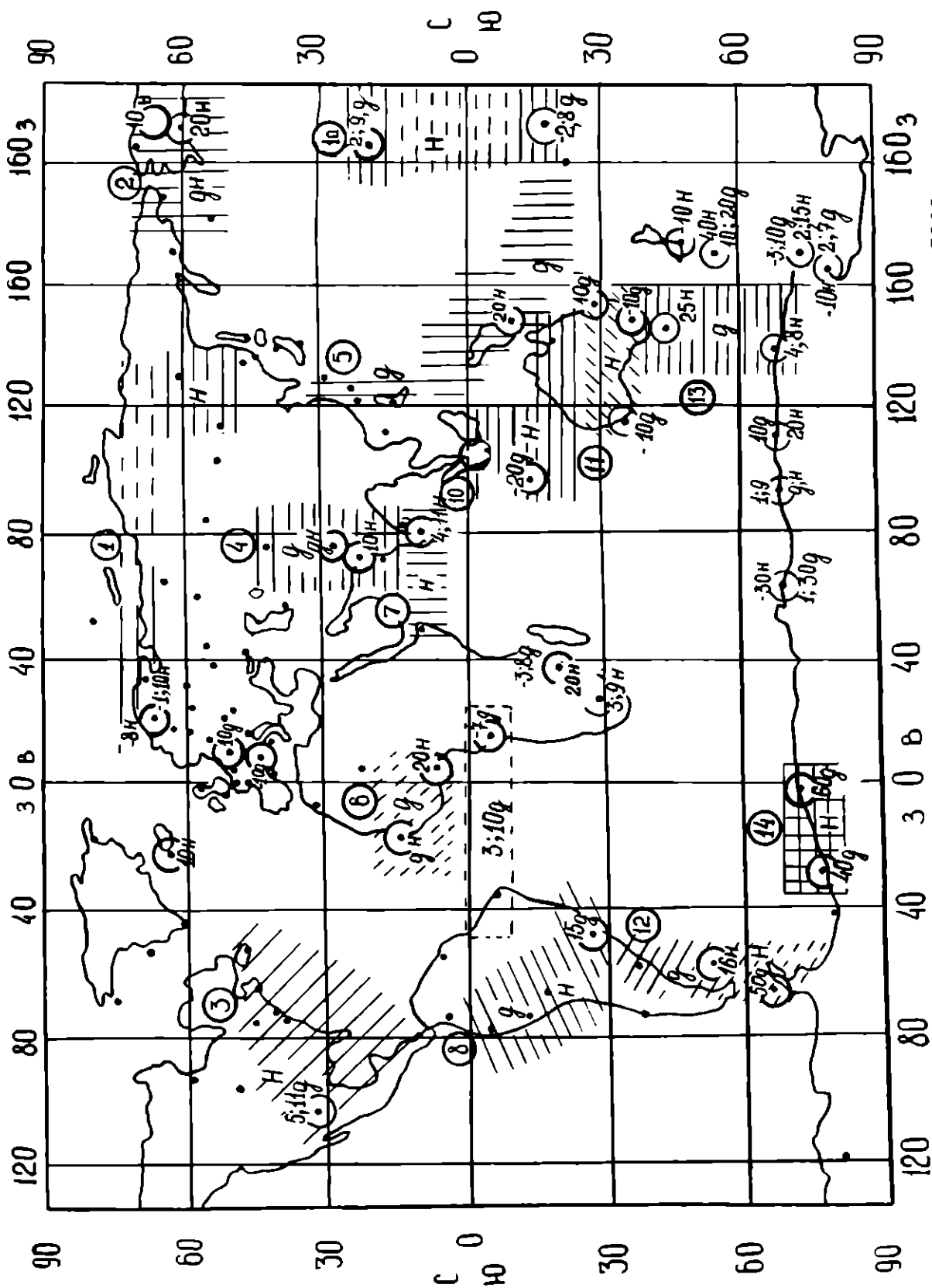


Рис. 19. Карта глобального распределения ошибок прогноза, июль 1962 г.

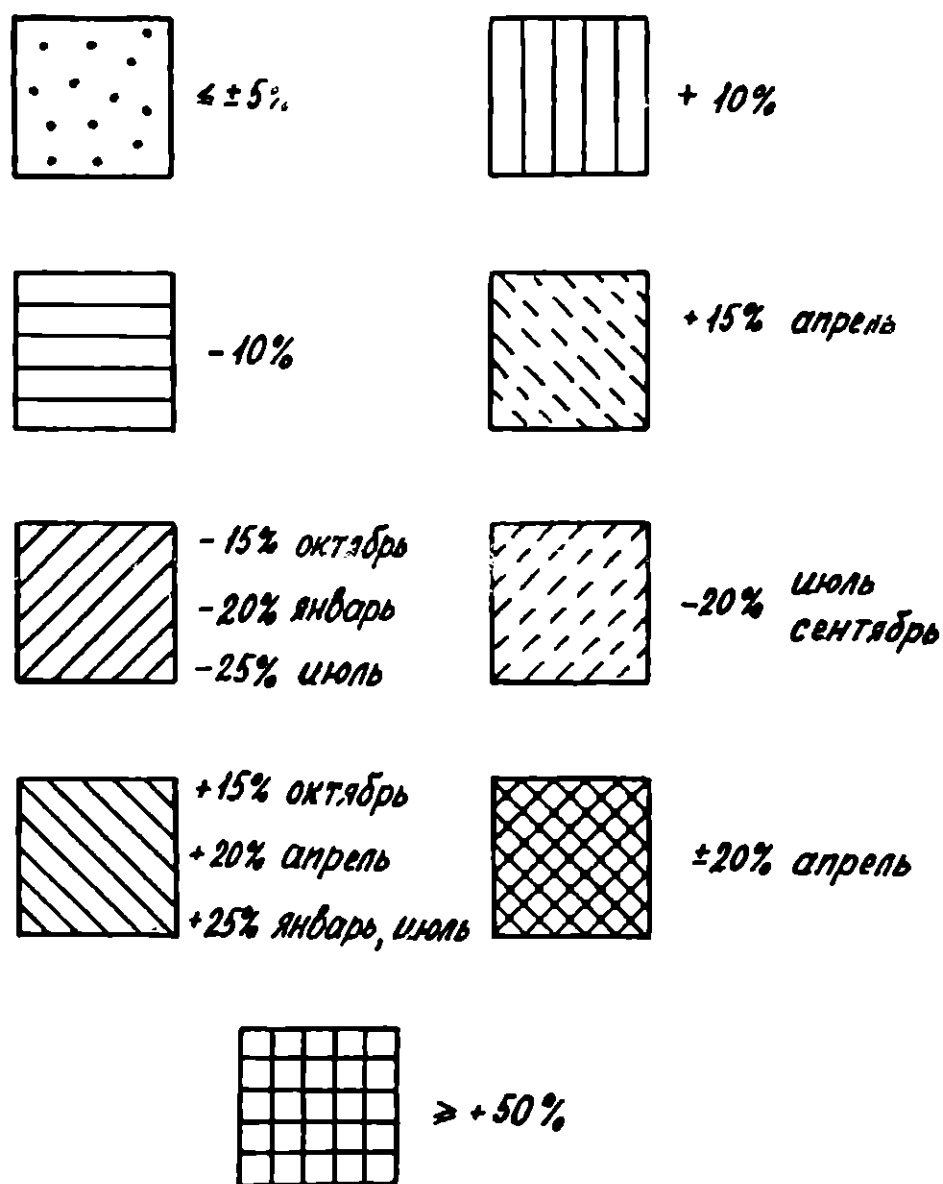


Рис. 20. Условные обозначения к рисункам I8–I9.

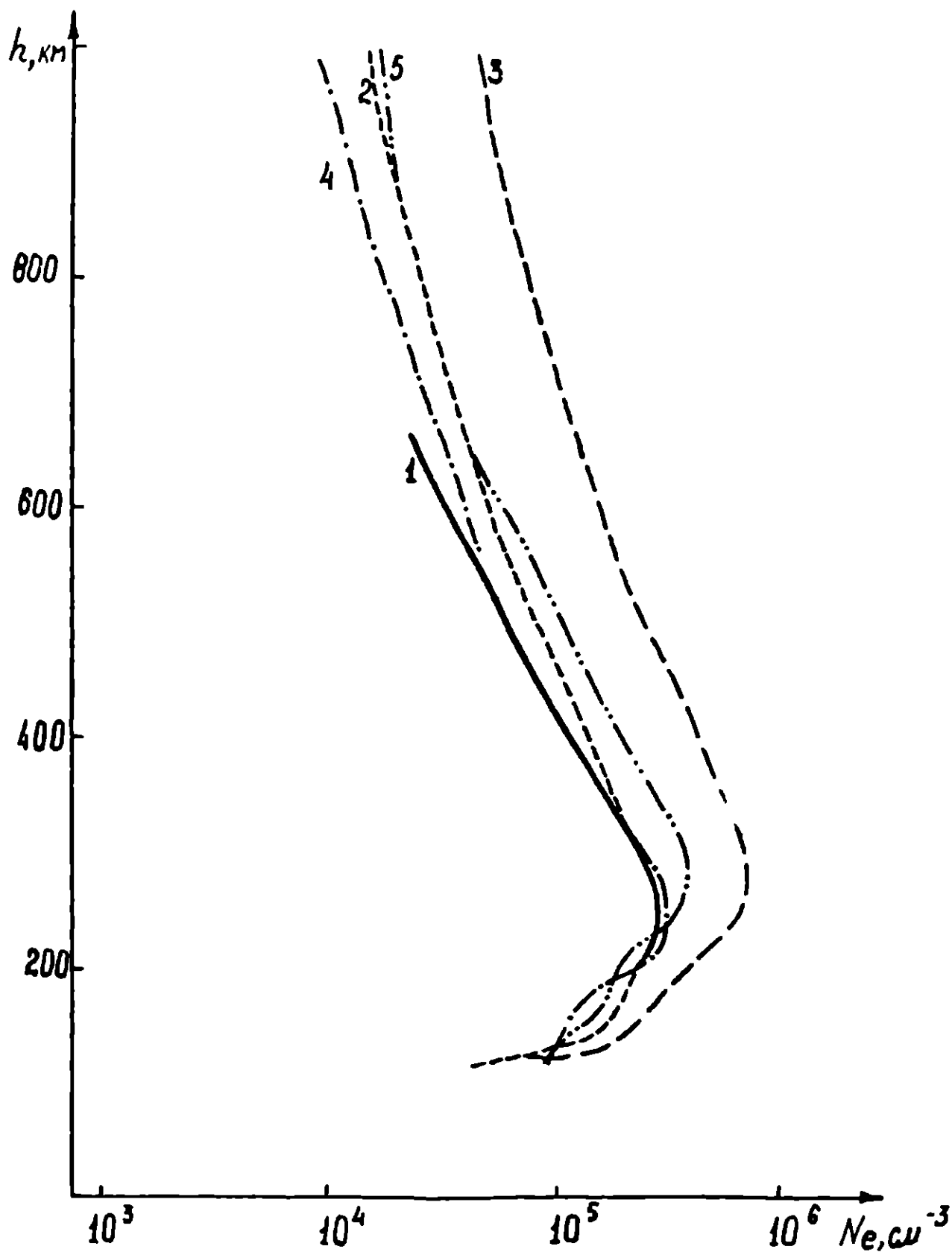


Рис. 2Ia.  $N(h)$  -профили для Миллстоун-Хилла. Лето 1963 г.  
 1 - эксперимент Эванса [12-13]; 2 - настоящая модель с коррекцией; 3 - настоящая модель без коррекции; 4 - профиль Равера [28]; 5 - профиль Нисбета [27]; 12 часов.

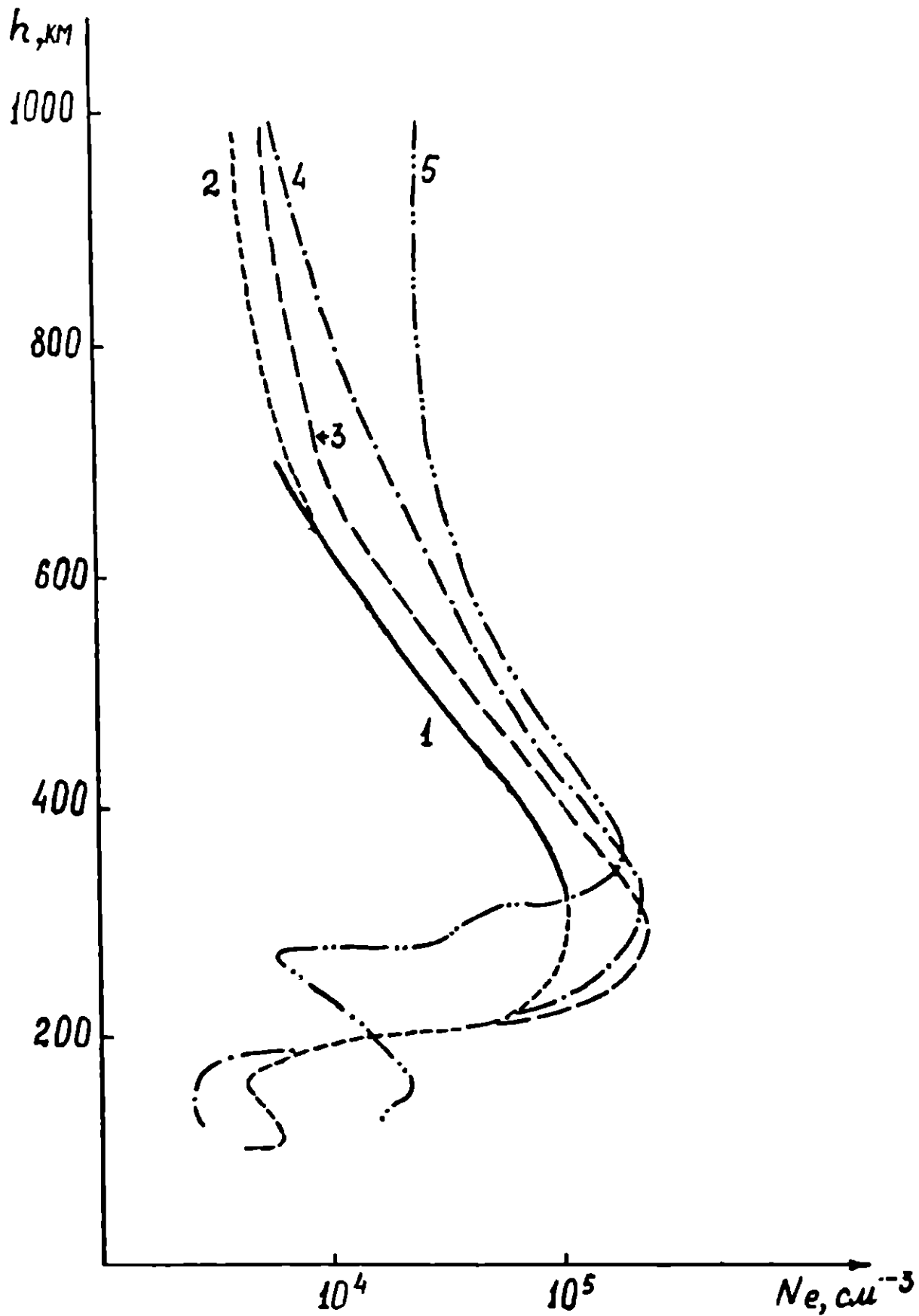


Рис. 216.  $N(h)$ -профили для Миллстоун-Хилла. Лето 1963 г.  
 1 - эксперимент Эванса [12-13]; 2 - настоящая модель с коррекцией; 3 - настоящая модель без коррекции; 4 - профиль Равера [28]; 5 - профиль Нисбета [27]; 0 часов.

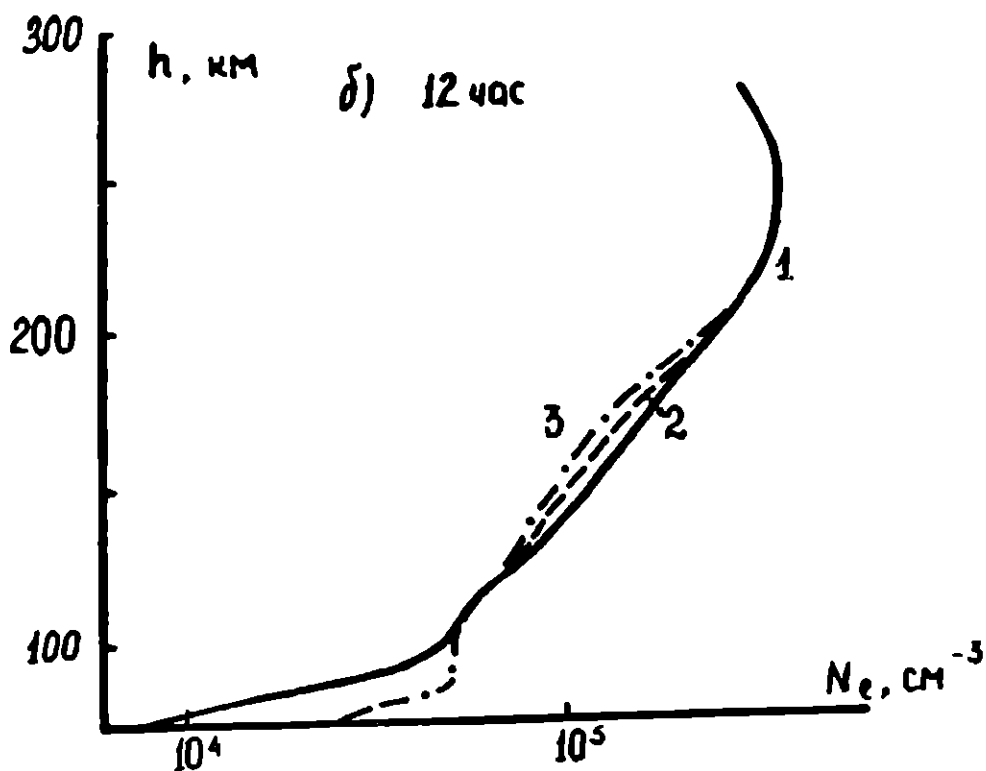
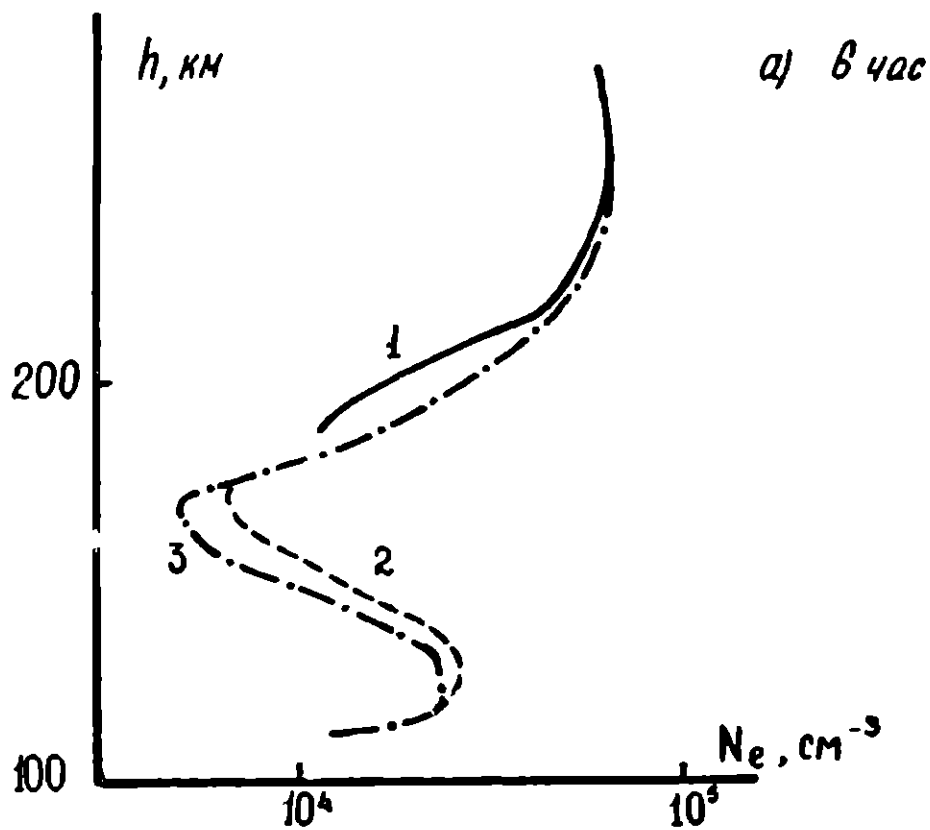


Рис. 22.  $N(h)$  -профили для станции Харьков; февраль 1975 г.  
 1 - эксперимент Харьковского политехнического института.  
 2 - настоящая модель, нестационарный вариант. 3 - настоящая модель, стационарный вариант. а) 6 , б) 12 часов.

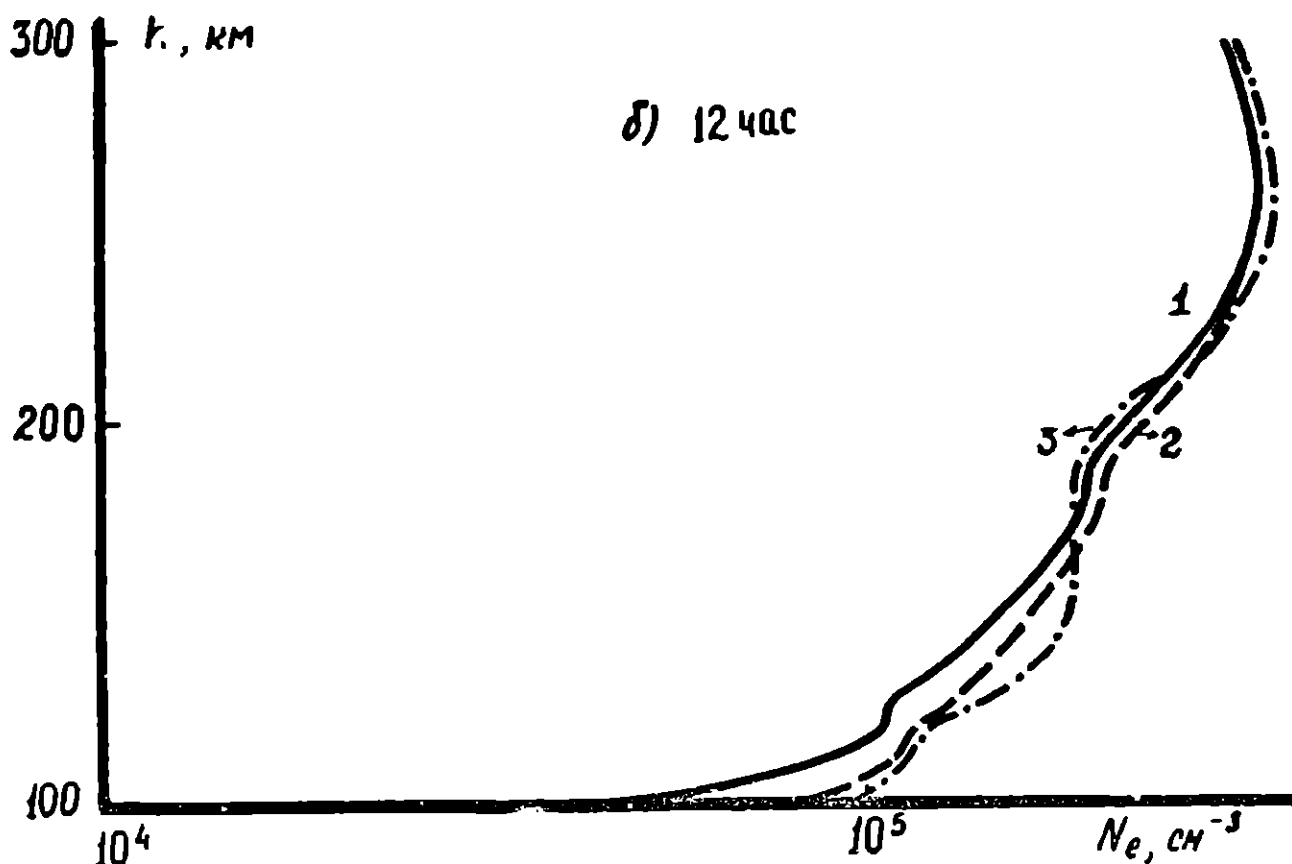
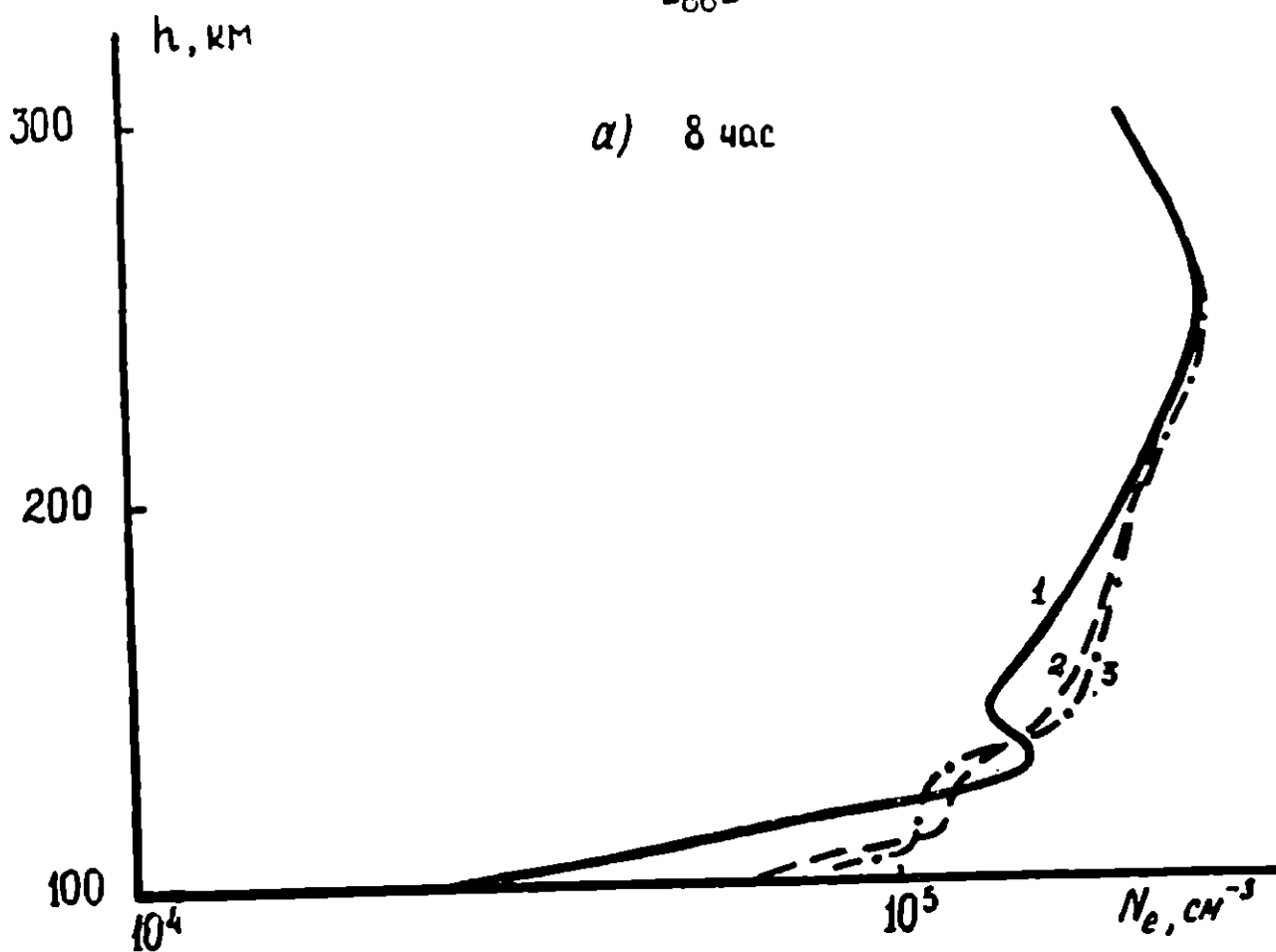


Рис. 23.  $N(h)$  - профили для станции Харьков; июль 1975 г.  
 1 - эксперимент Харьковского политехнического института.  
 2 - настоящая модель, нестационарный вариант. 3 - настоящая модель, стационарный вариант. а) 8, б) 12 часов.

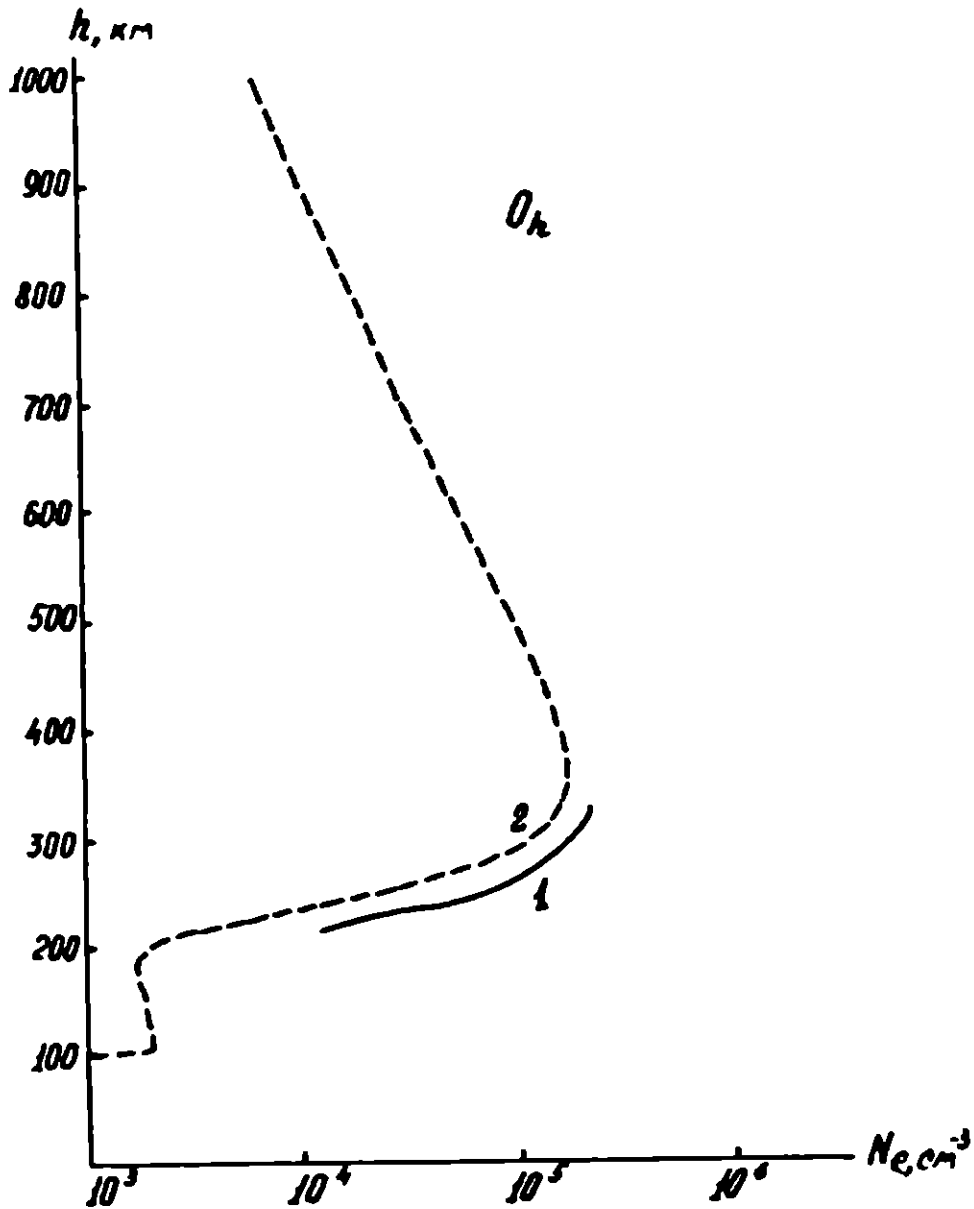


Рис. 24а.  $N(h)$ -профили для Иркутска. 1 - расчет по ионограмме; 2 - настоящая модель без коррекции по высоте; 0 часов.



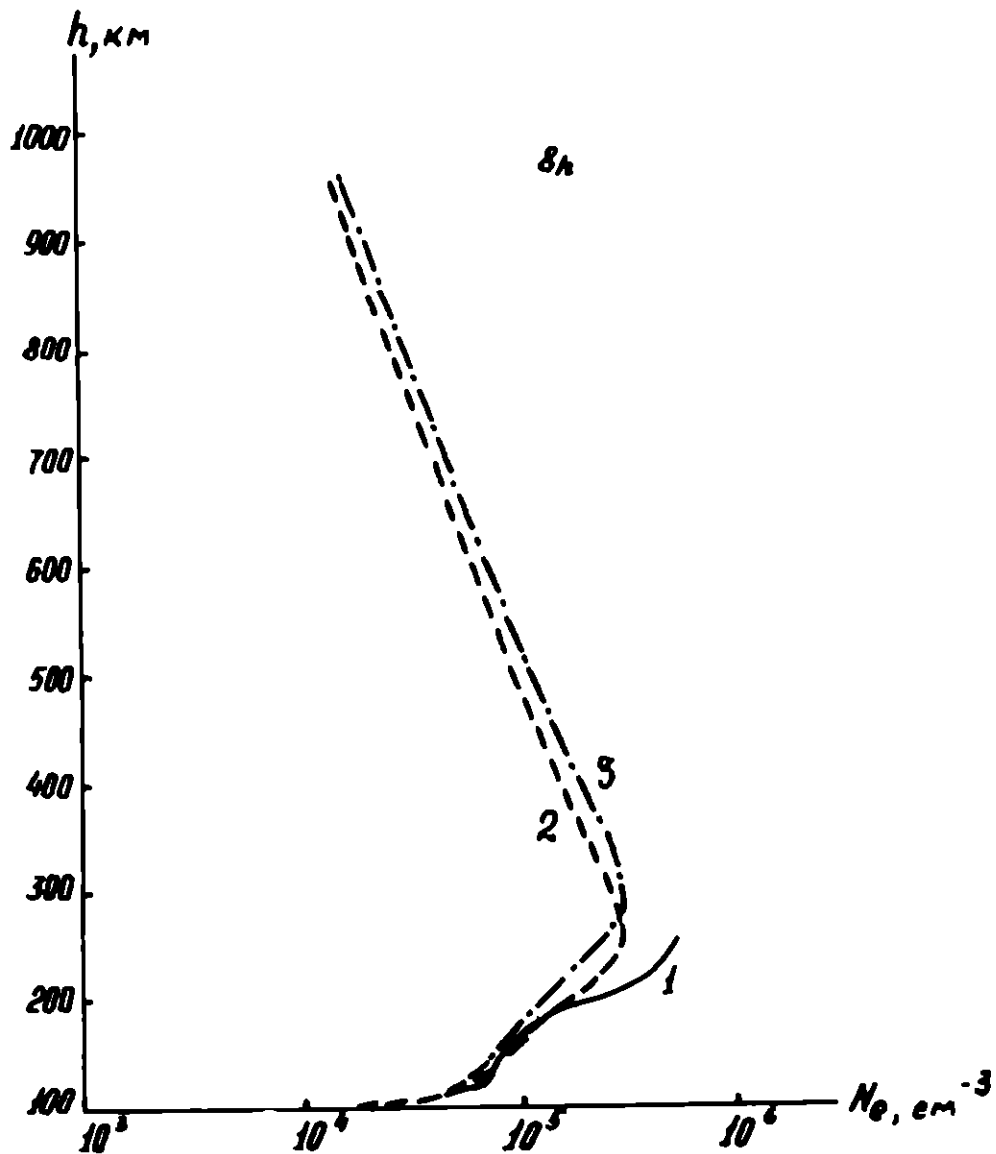


Рис. 246.  $N(h)$  – профили для Иркутска. 1 – расчет по ионограмме;  
 2 – настоящая модель с коррекцией по высоте;  
 3 – без коррекции. 8 часов.

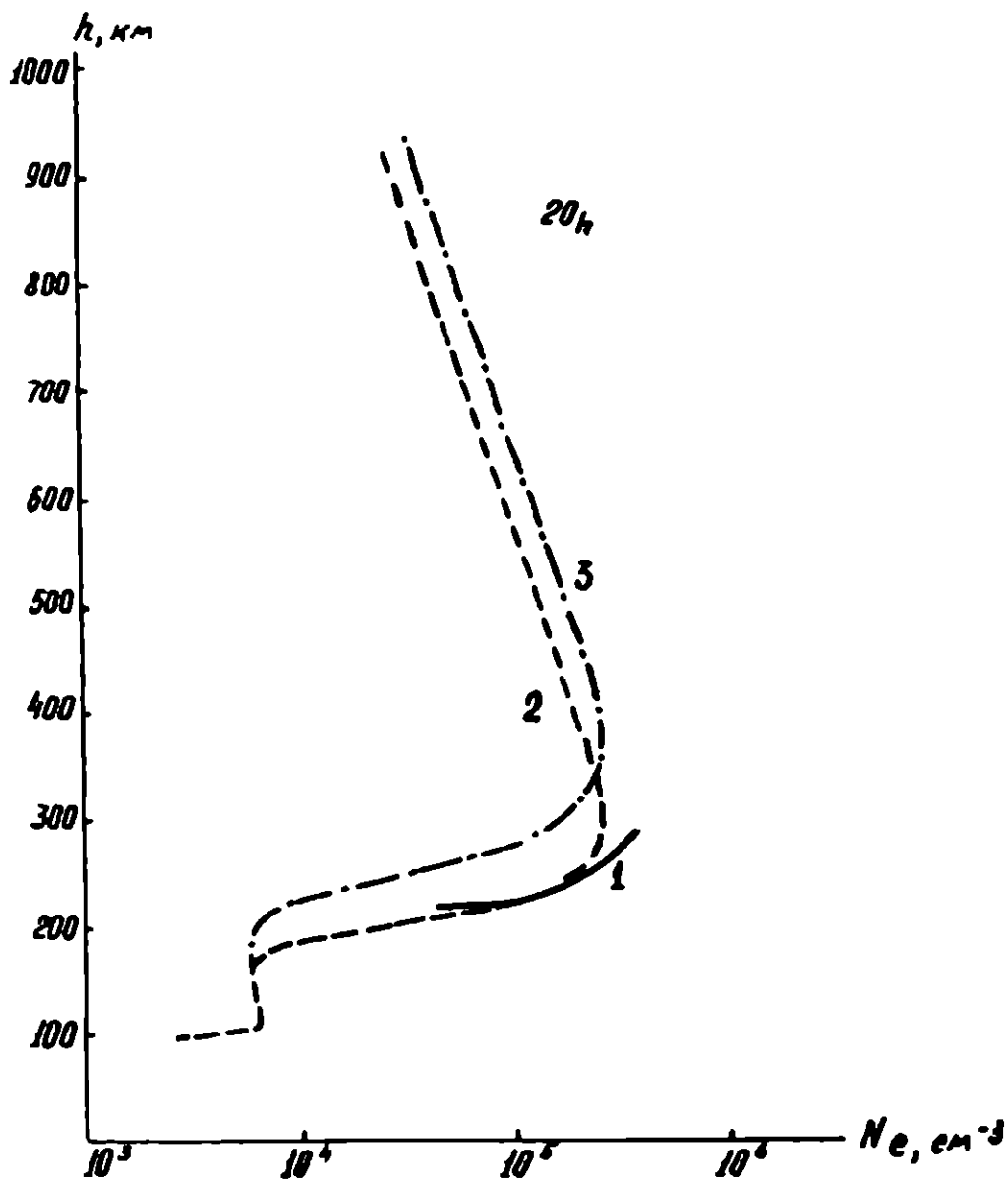


Рис. 24в.  $N(h)$  – профили для Иркутска. 1 – расчет по ионограмме; 2 – настоящая модель с коррекцией по высоте; 3 – без коррекции. 20 часов.

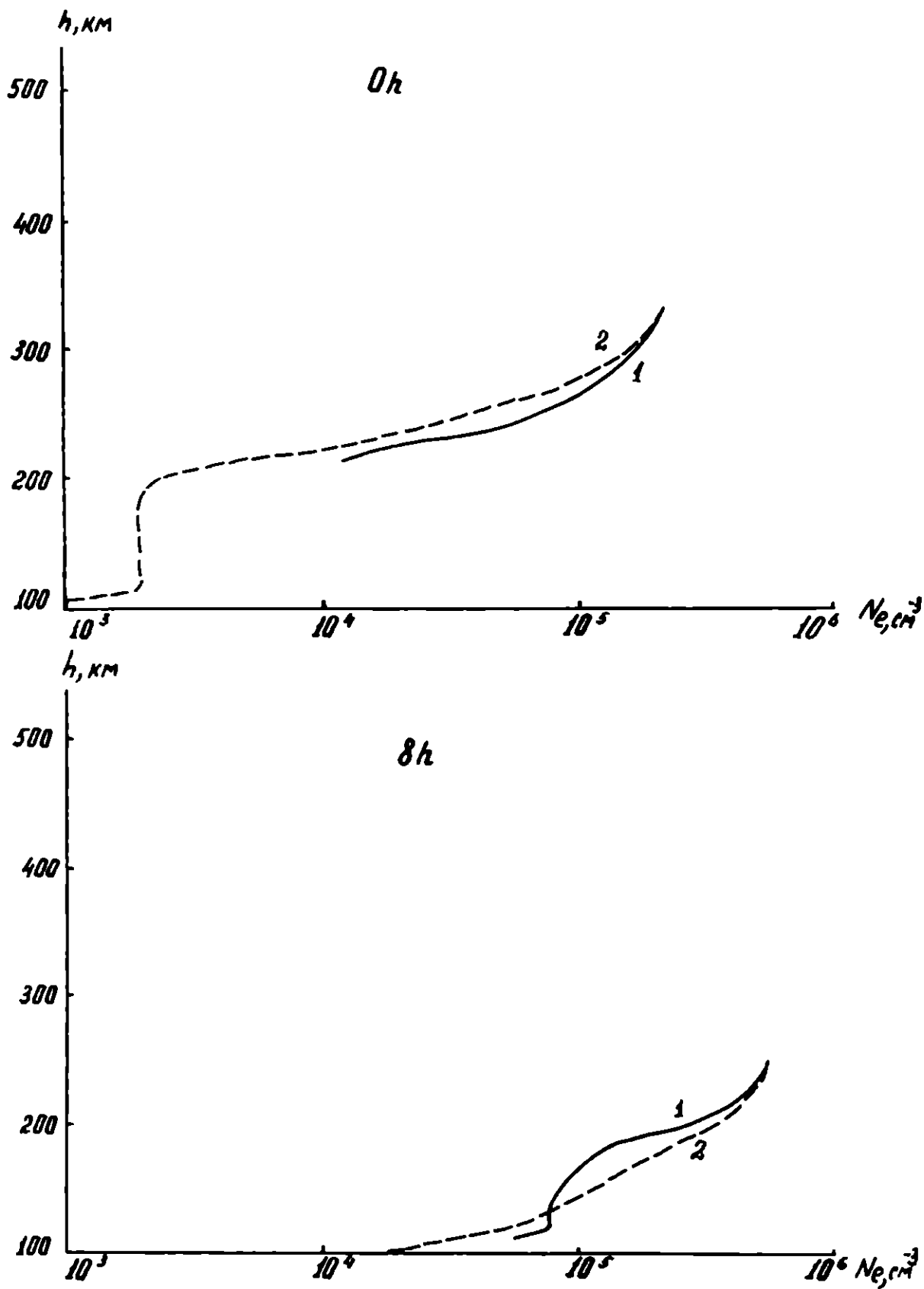


Рис. 25.  $N(h)$ -профили для Иркутска с коррекцией непосредственно по данным станции; март 1962 г. 1 - эксперимент; 2 - расчет по модели. 0 и 8 часов местного времени.

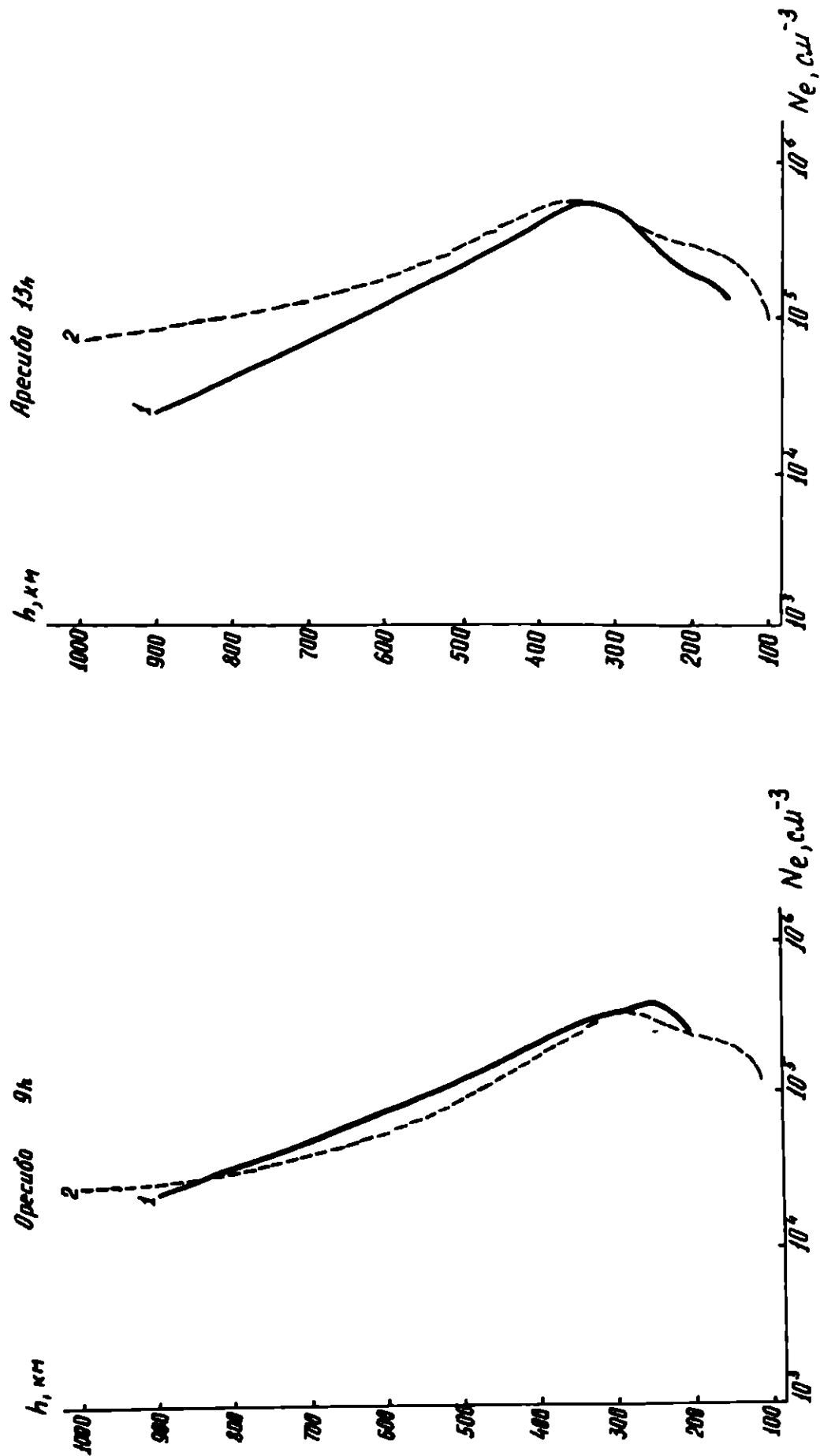


Рис. 26.  $N(h)$  - профили для Арсидо. 1 - эксперимент Рао [30], 2 - настоящая модель.  
9 и 13 часов местного времени.

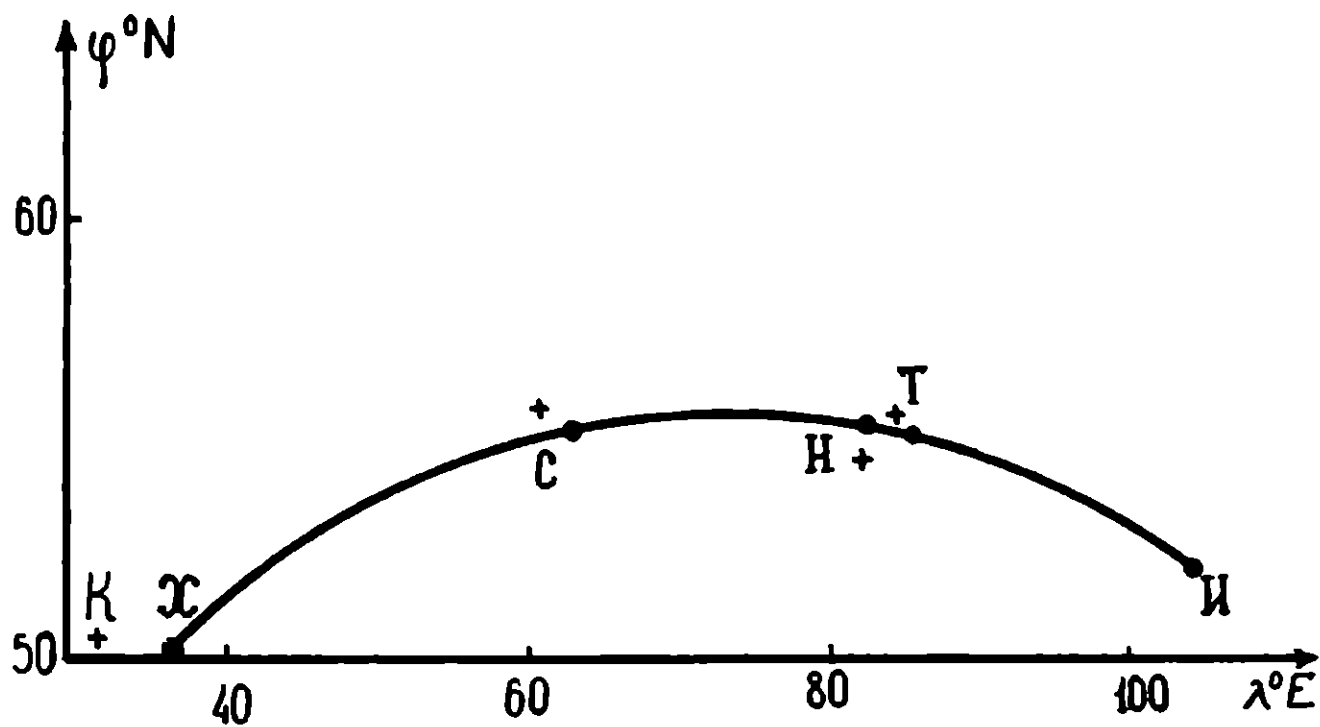


Рис. 27. Расположение ионосферных станций вдоль радиотрассы Харьков-Иркутск: К - Киев, Х - Харьков, С - Свердловск, Н-Новосибирск, Т - Томск, И - Иркутск.

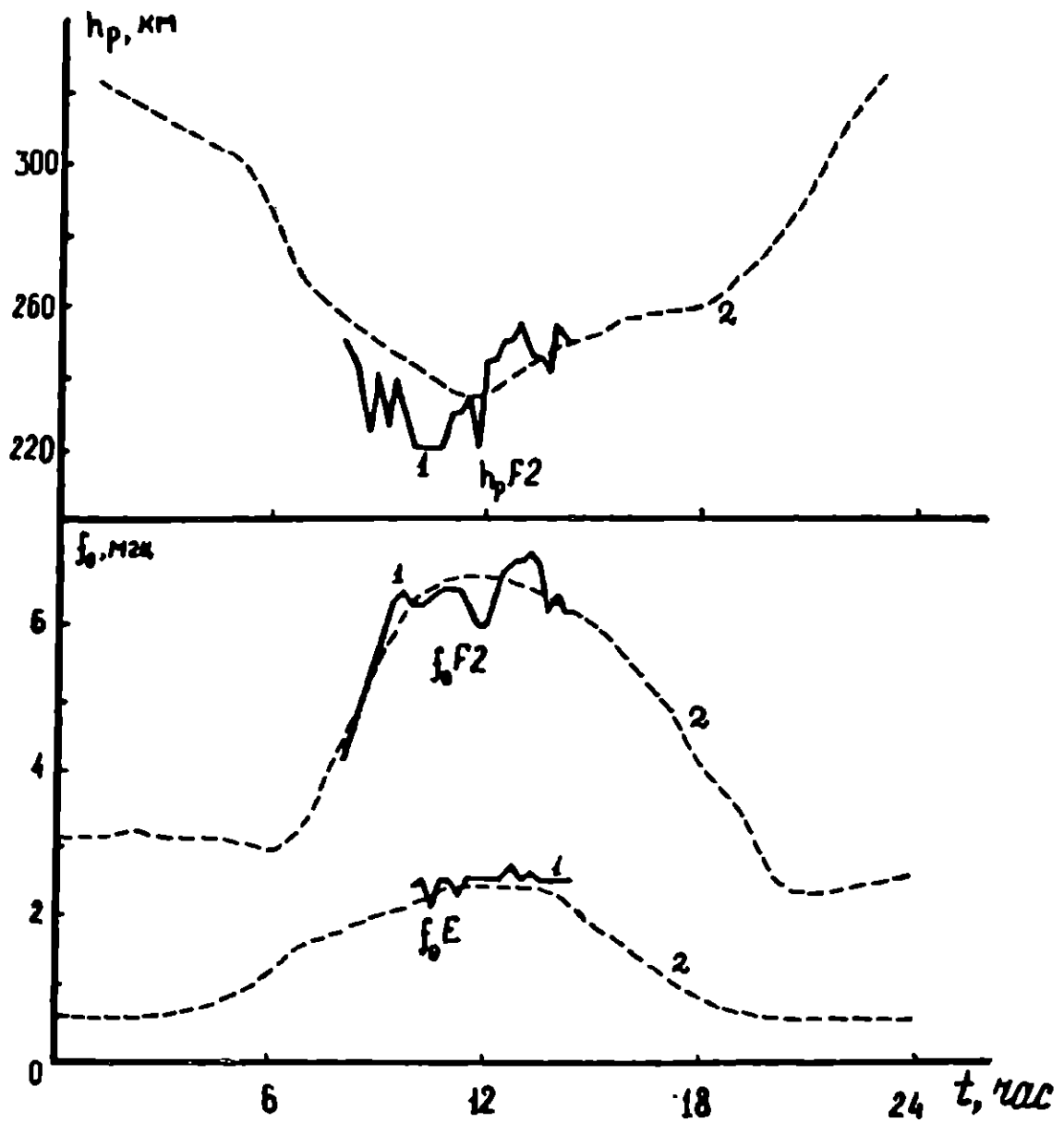


Рис. 28. Суточные вариации параметров  $f_o E$ ,  $f_o F2$ ,  $h_p F2$  17 ноября 1975 г. 1 - эксперимент (вертикальное зондирование). 2 - расчет по модели. Станция Киев.

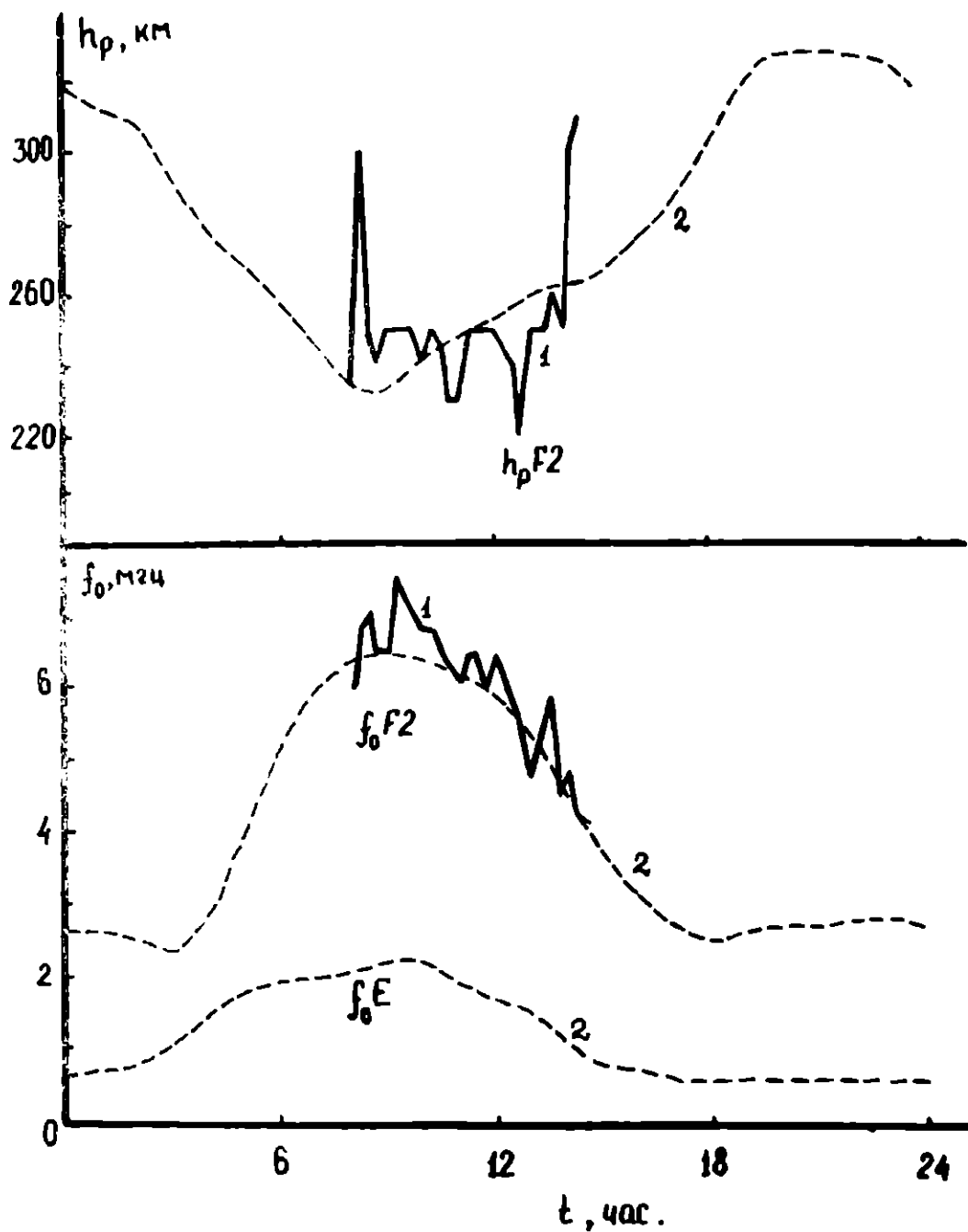


Рис. 29. Суточные вариации параметров  $f_0 E$  ,  $f_0 F2$  ,  $h_p F2$  17 ноября 1975 г. 1 – эксперимент (вертикальное зондирование). 2 – расчет по модели. Станция Новосибирск.

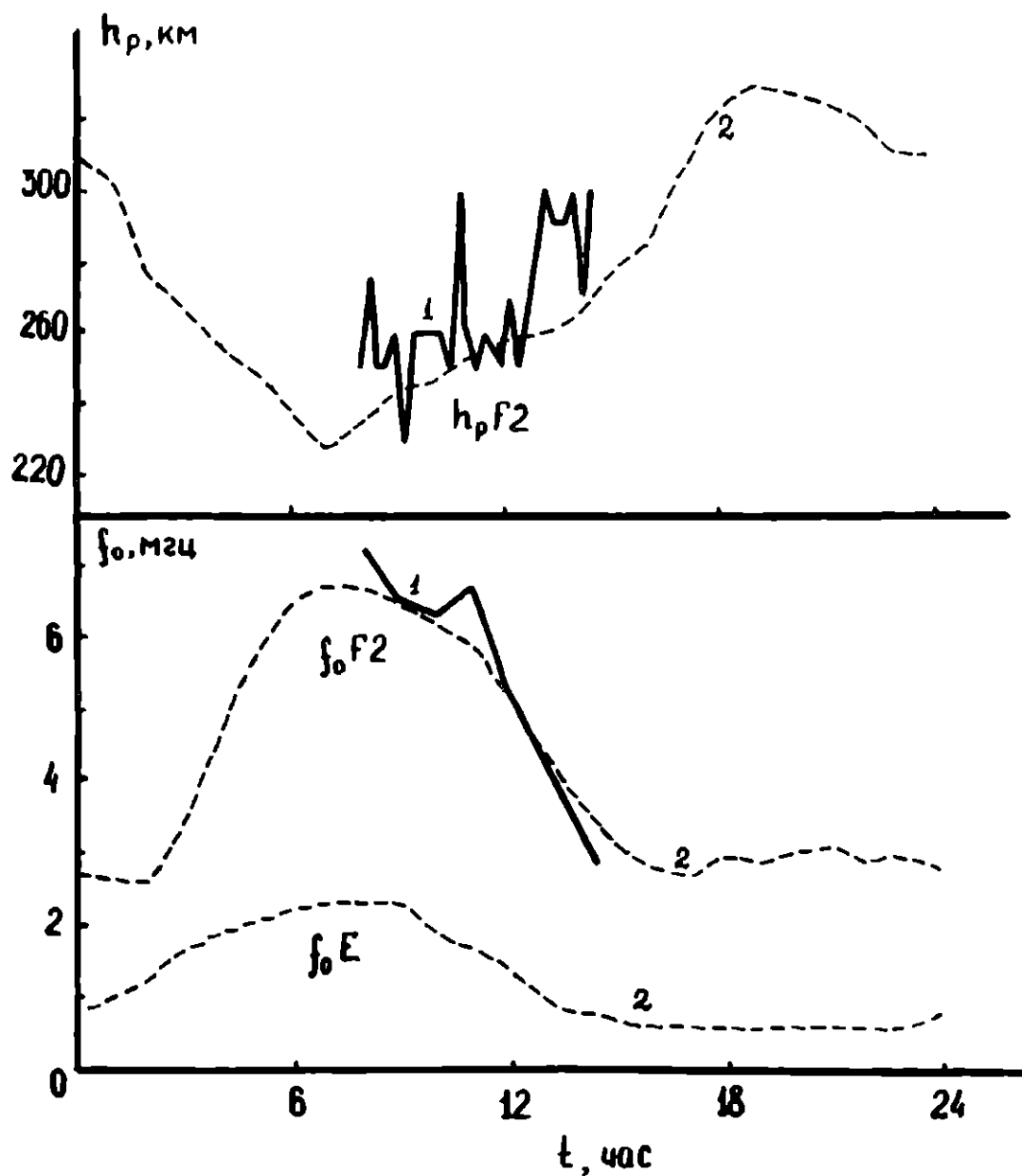


Рис. 30. Суточные вариации параметров  $f_o E$  ,  $f_o F2$  ,  $h_p F2$  17 ноября 1975 г. 1 - эксперимент (вертикальное зондирование). 2 - расчет по модели. Станция Иркутск.



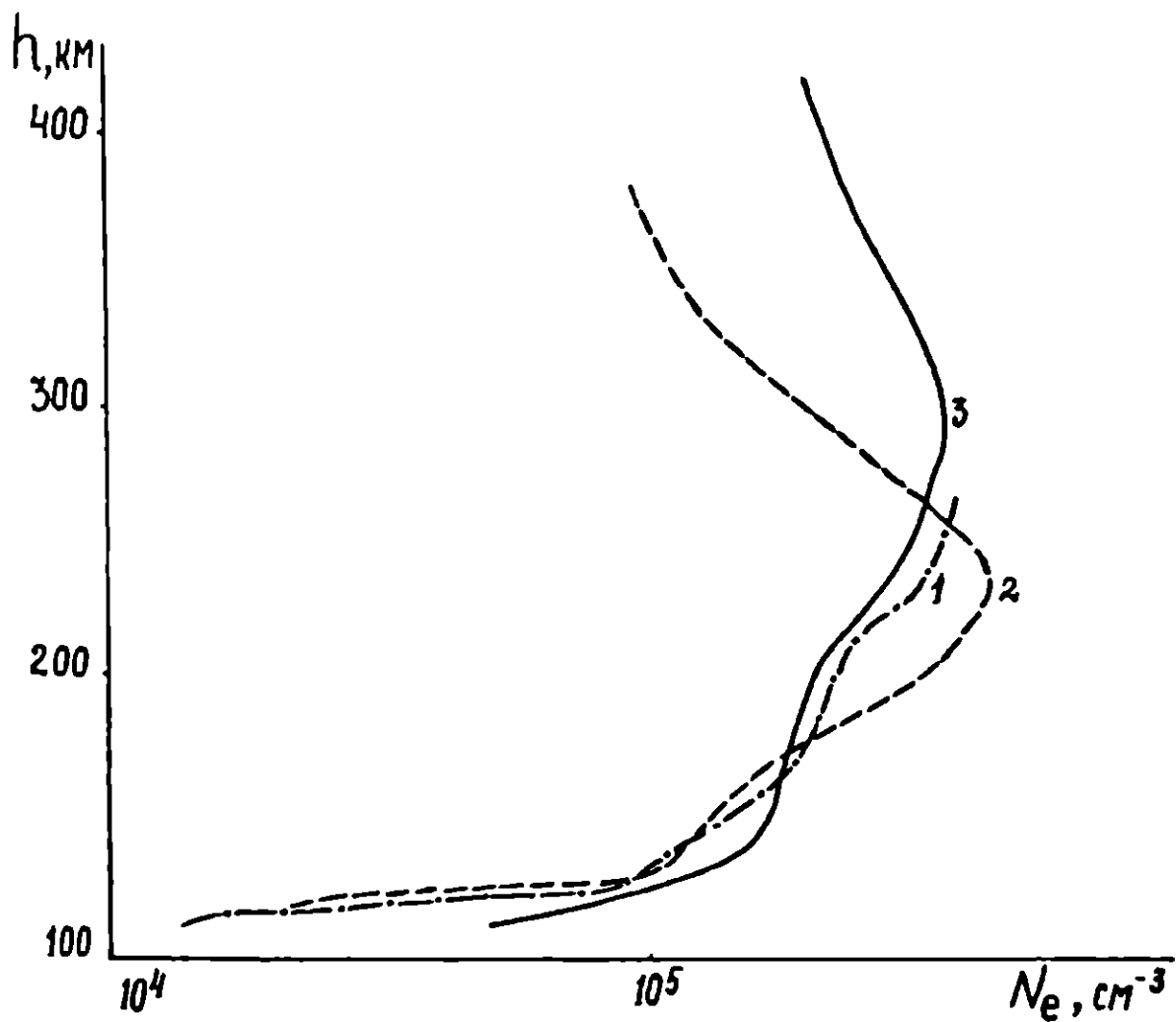


Рис. 3I.  $N(h)$  - профили для Иркутска. 15 мая 1976 г.  
 1 - расчет по экспериментальной ионограмме.  
 2 - модель Соболевой [3I] . 3 - настоящая модель.

3UMa

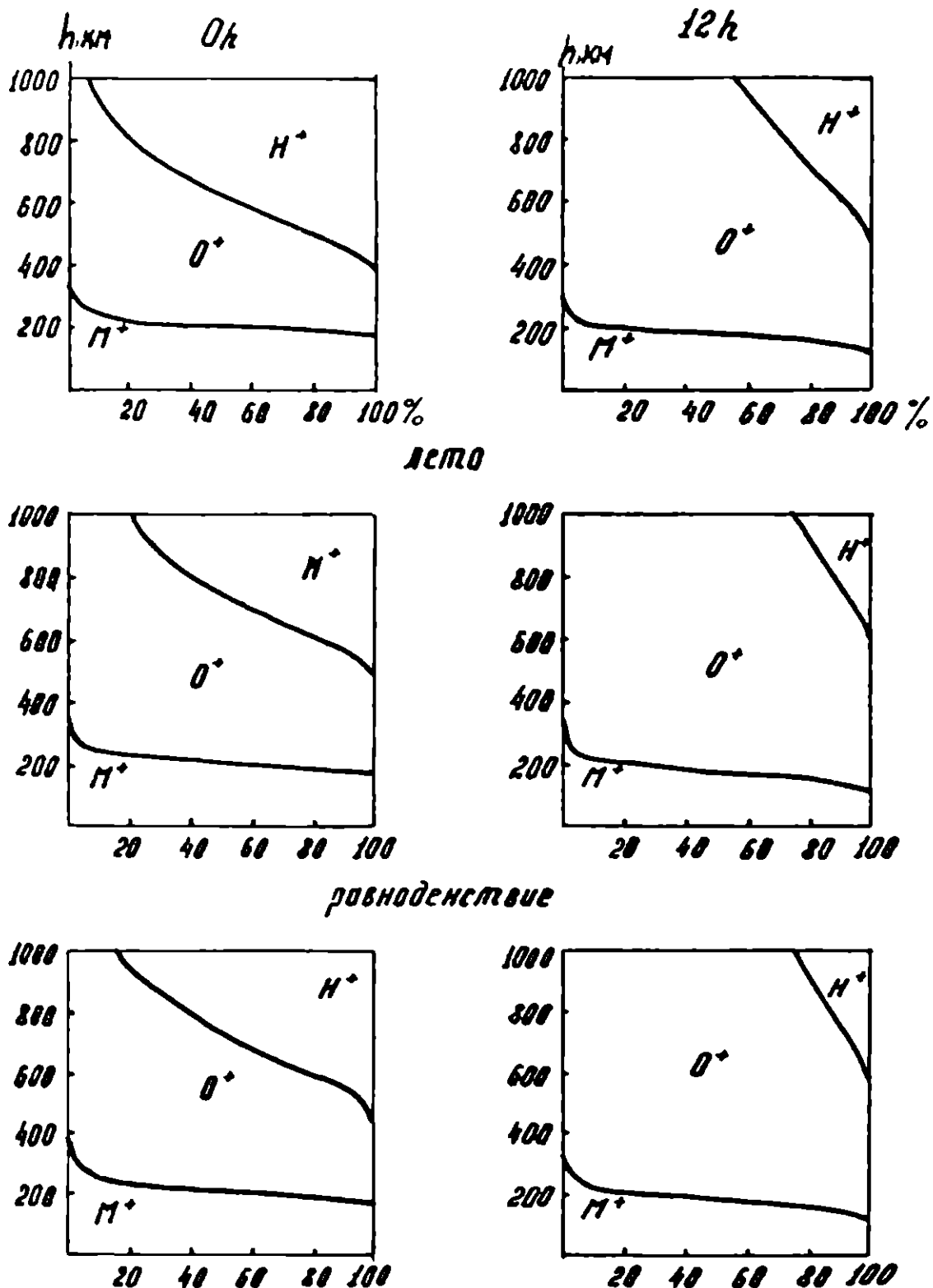


Рис. 32. Ионный состав ионосферы, рассчитанный по настоящей модели для Миллстоун Хилла. Низкая активность.

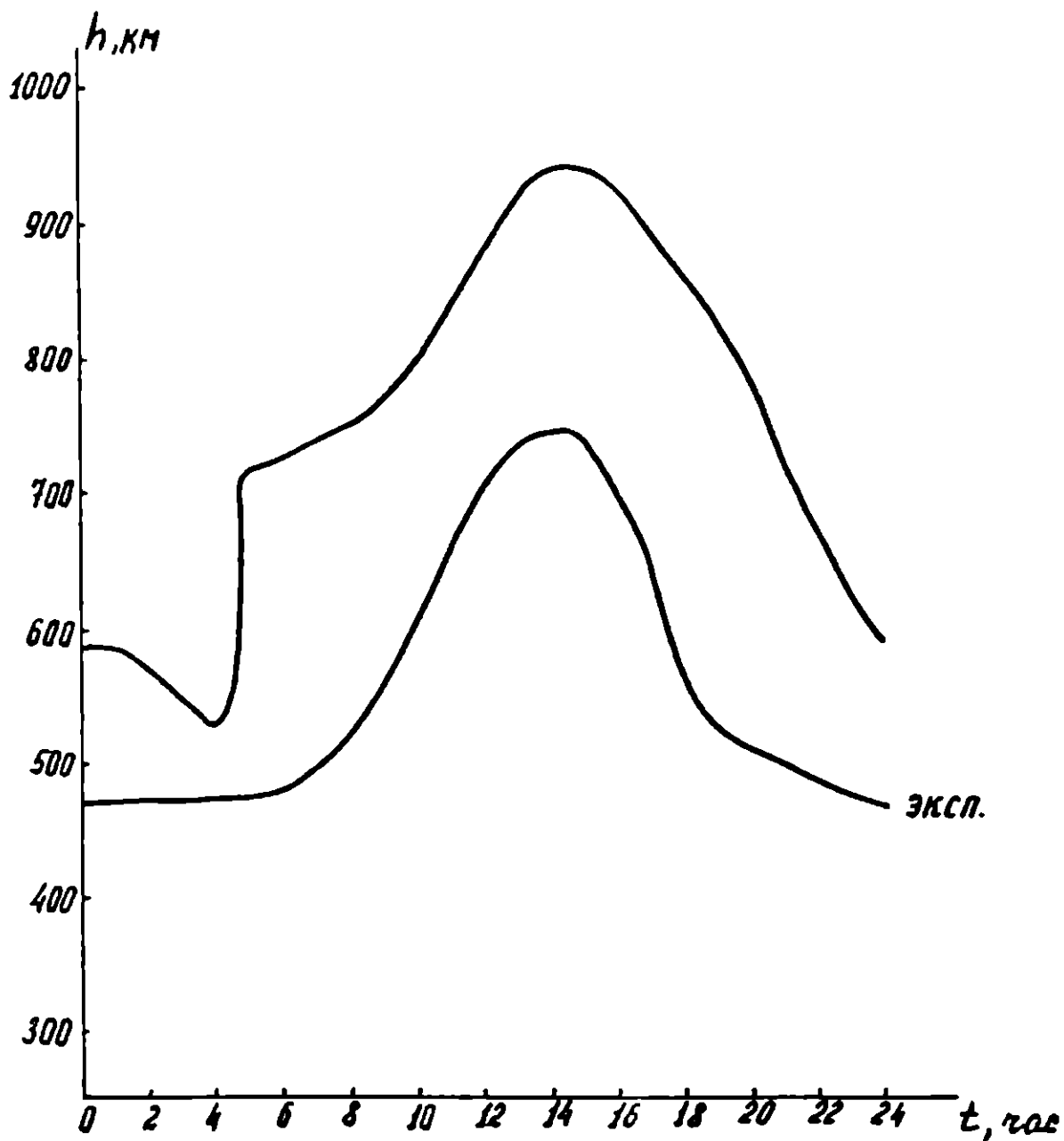


Рис. 33. Суточный ход уровня равных концентраций  $[O^*]=[H^*]$  по данной модели и по эксперименту Карлсона и Гордона [34] .

Таблица 1

f<sub>o</sub>f2 июнь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	2.2	2.1	2.1	2.5	3.3	3.6	3.7	3.7	3.5	3.3	2.7	2.4
80	2.6	2.5	2.2	2.2	3.7	4.6	5.1	5.1	4.6	3.9	3.2	2.8
70	3.1	3.0	2.8	2.6	4.4	5.1	6.8	6.7	5.8	4.4	3.4	3.1
60	2.8	2.9	3.1	3.3	5.0	6.3	6.5	6.1	5.3	4.1	2.9	2.8
50	2.8	2.9	3.1	3.7	5.5	6.6	6.5	6.1	5.5	4.5	3.1	2.9
40	3.3	3.2	3.0	3.7	6.2	7.4	7.6	7.3	6.9	5.9	4.4	3.7
30	4.1	3.5	2.8	3.6	7.0	8.3	8.8	8.7	8.4	7.5	5.9	4.9
15	4.6	3.6	2.6	3.8	7.9	8.8	9.1	9.2	9.3	8.9	7.2	5.8
0	4.5	3.6	2.7	4.4	7.9	8.2	8.4	8.6	9.0	9.1	7.4	5.8
15	4.7	4.0	3.4	5.1	7.4	7.7	8.6	9.1	9.5	9.4	7.6	5.8
30	5.3	4.9	4.4	5.7	6.8	7.4	9.1	10.0	10.1	9.6	8.0	6.2
40	5.7	5.3	4.9	6.1	6.6	7.1	8.6	9.4	9.5	9.1	7.8	6.5
50	5.9	5.4	5.0	6.3	6.5	6.7	7.5	7.9	8.8	8.0	7.3	6.5
60	5.9	5.2	4.7	6.0	6.5	6.3	6.4	6.4	6.6	7.0	6.8	6.5
70	5.6	5.0	4.4	5.5	6.1	6.0	6.0	5.8	5.9	6.4	6.3	6.2
80	4.9	4.5	4.2	5.0	5.3	5.4	5.6	5.6	5.5	5.6	5.4	5.3
85°S	4.5	4.9	4.2	4.9	4.8	5.0	5.3	5.3	5.1	5.1	4.8	4.8

Таблица 2

h<sub>p</sub>f2 июнь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	301	319	311	301	309	297	294	304	317	318	330	326
80	311	318	309	288	284	269	267	277	289	292	307	321
70	320	316	306	274	258	244	244	254	262	264	281	310
60	323	318	307	275	260	248	249	259	268	270	287	315
50	321	315	306	276	262	249	248	258	266	269	289	321
40	313	306	300	272	258	249	247	255	260	260	281	315
30	301	298	292	268	261	267	272	273	271	266	279	298
15	288	295	288	279	292	338	359	350	333	312	307	284
0	292	297	297	302	330	407	435	414	381	348	343	314
15	308	295	309	312	332	412	428	401	356	320	339	353
30	323	295	313	303	305	370	377	353	308	277	311	364
40	329	305	314	296	293	347	358	339	303	277	204	348
50	334	323	320	299	296	338	353	343	321	301	312	330
60	337	340	332	310	310	333	348	343	334	319	323	326
70	333	346	343	323	323	328	334	331	325	313	322	331
80	314	336	342	328	335	336	338	331	322	306	316	322
85°S	301	331	338	330	345	349	352	343	333	314	319	312

Таблица 3  $f_oF2$  сентябрь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	2.6	2,6	2.6	3.3	4.0	4.4	4.4	4.3	4.1	3.7	3.0	2.7
80	2.8	2.6	2.5	3.2	4.2	4.8	5.1	5.2	5.0	4.6	3.7	3.1
70	3.0	2.8	2.6	3.3	5.1	6.0	6.6	6.7	6.5	5.7	4.4	3.5
60	3.4	3.2	3.0	3.7	6.0	7.1	7.3	7.2	6.8	5.9	4.5	3.8
50	4.1	3.7	3.3	4.0	7.2	8.4	8.3	7.9	7.4	6.6	5.2	4.6
40	5.0	4.1	3.2	4.1	8.4	9.6	9.4	8.9	8.6	8.0	6.7	6.0
30	5.8	2.5	3.1	4.2	9.2	10.2	9.9	9.6	9.6	9.4	8.1	7.2
15	6.1	4.6	3.0	4.5	9.1	9.6	9.3	9.2	9.6	10.0	8.9	7.7
0	5.6	4.4	3.1	4.8	8.3	8.5	8.8	9.0	9.6	9.9	8.6	7.2
15	5.0	4.1	3.1	4.7	7.8	8.5	9.8	10.5	10.9	10.5	8.5	6.4
30	4.4	3.9	3.2	4.5	7.4	8.8	10.7	11.5	11.6	10.3	7.9	5.6
40	4.1	3.8	3.4	4.5	7.0	8.4	10.0	10.6	10.4	9.1	6.9	4.9
50	3.8	3.7	3.6	4.6	6.5	7.5	8.4	8.7	8.4	7.5	5.7	4.4
60	3.7	3.5	3.4	4.5	6.0	6.5	6.9	6.9	6.8	6.4	5.0	4.2
70	3.5	3.1	2.9	3.9	5.6	5.9	6.1	6.1	6.2	6.0	4.9	4.1
80	2.9	2.7	2.6	3.4	4.7	5.1	5.5	5.6	5.5	5.1	4.0	3.3
85°S	2.8	2.8	2.8	3.5	4.1	4.6	4.9	5.0	4.8	4.3	3.4	3.0

Таблица 4  $h_pF2$  сентябрь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	336	334	325	308	310	328	337	339	337	330	341	346
80	327	322	315	294	290	306	312	313	309	301	316	333
70	330	317	310	281	267	278	284	285	280	275	293	326
60	338	323	314	285	270	276	279	284	285	283	305	341
50	329	320	313	288	277	274	273	281	286	286	309	341
40	305	308	302	283	280	276	276	282	287	285	301	317
30	286	296	286	274	282	297	308	309	309	301	302	290
15	285	290	271	270	294	362	396	389	375	354	336	282
0	300	290	273	278	305	405	445	430	402	372	359	310
15	305	282	286	283	296	378	400	379	340	310	324	333
30	309	282	297	280	273	321	326	306	268	243	276	335
40	325	296	305	278	263	300	305	291	261	242	273	335
50	346	318	313	280	262	294	306	300	282	269	291	338
60	558	338	325	288	268	289	302	304	297	291	305	338
70	356	348	337	298	279	280	288	292	292	288	301	333
80	347	347	341	309	296	295	300	302	299	291	304	331
85°S	336	339	335	310	305	313	319	318	313	303	315	331

Таблица 5

$f_oF2$  декабрь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	4.4	4.3	4.3	5.2	5.1	5.3	5.5	5.4	5.2	5.2	4.7	4.6
80	4.3	4.2	4.2	5.1	5.4	5.7	5.8	5.7	5.5	5.3	4.7	4.6
70	4.7	4.3	4.1	5.0	5.9	6.3	6.4	6.3	6.2	6.0	5.3	5.1
60	5.8	5.2	4.7	5.4	6.1	6.8	7.4	7.6	7.4	7.1	6.6	5.3
50	6.6	6.0	5.2	5.5	6.3	7.6	9.0	9.5	9.1	8.3	7.7	7.2
40	6.6	5.9	5.0	5.2	6.6	8.5	10.2	10.9	10.3	9.0	8.1	7.3
30	6.0	5.3	4.4	4.7	7.0	8.8	10.4	10.9	10.5	9.0	7.9	6.8
15	5.3	4.5	3.6	4.6	7.4	8.3	8.9	9.1	9.1	8.6	7.4	6.3
0	5.5	4.5	3.6	4.9	7.8	8.3	8.4	8.4	8.5	8.6	7.5	6.6
15	5.6	4.7	3.8	4.5	7.8	9.2	9.7	9.8	9.4	8.6	7.4	6.5
30	4.4	4.0	3.4	3.5	7.0	9.3	10.2	10.1	9.2	7.3	5.7	4.9
40	3.4	3.3	3.0	2.9	6.1	8.4	8.9	8.7	7.6	5.7	4.1	3.6
50	2.8	2.8	2.8	2.7	5.3	7.2	7.3	6.8	5.8	4.1	2.8	2.7
60	2.9	3.0	3.0	2.8	4.8	6.5	6.5	6.0	5.0	3.5	2.5	2.7
70	3.0	3.1	3.0	2.5	4.2	6.1	6.5	6.2	5.2	3.4	2.6	2.8
80	2.3	2.4	2.3	1.8	2.9	4.6	5.3	5.2	4.2	2.7	2.1	2.1
85°S	2.0	2.1	2.1	1.9	2.4	3.6	4.1	4.1	3.5	2.4	1.9	1.8

Таблица 6

$h_pF2$  декабрь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	272	303	310	315	339	346	345	339	332	317	325	309
80	287	309	313	306	318	324	326	321	313	298	307	304
70	320	326	324	303	301	316	325	319	309	294	303	314
60	325	325	325	308	310	331	337	331	319	305	320	338
50	314	313	317	307	313	336	338	333	320	307	326	344
40	307	308	309	300	309	336	343	337	323	308	323	332
30	310	312	307	297	308	351	369	360	343	323	326	316
15	315	320	308	303	323	394	427	413	389	361	348	309
0	299	306	297	300	327	399	429	415	391	363	352	309
15	276	282	280	278	294	332	346	338	323	306	310	297
30	284	282	282	262	257	262	264	263	257	249	266	289
40	307	299	296	266	250	250	252	253	249	243	262	299
50	329	316	310	275	256	258	262	264	261	257	277	317
60	337	322	313	278	259	257	259	266	269	269	291	331
70	331	322	311	278	260	242	239	251	263	269	293	331
80	324	330	324	295	284	259	254	264	277	280	299	326
85°S	313	330	330	310	309	292	288	292	296	292	306	320

Таблица 7 *f<sub>o</sub>F<sub>2</sub>* июнь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
65°N	2.0	1.9	1.8	2.1	2.4	2.7	2.9	2.9	2.7	2.5	2.2	2.1
80	2.0	2.0	1.9	1.9	2.6	3.3	3.8	3.8	3.5	2.9	2.4	2.1
70	2.5	2.4	2.3	2.2	3.2	4.4	4.9	4.9	4.3	3.2	2.6	2.5
60	2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	4.6	4.9	4.7	4.1	3.1	2.5	2.5
50	2.4	2.4	2.4	2.6	4.0	5.0	5.2	5.0	4.4	3.5	2.7	2.5
40	2.4	2.4	2.3	2.8	4.6	5.9	6.3	6.2	5.7	6.6	3.3	2.7
30	2.6	2.5	2.3	3.0	5.6	6.8	7.2	7.2	6.8	5.8	4.1	3.1
15	2.9	2.5	2.2	3.4	6.4	7.0	7.2	7.2	7.2	6.7	4.9	3.7
0	2.9	2.5	2.2	3.9	6.1	6.1	6.4	6.6	7.0	7.0	5.3	3.8
15	2.8	2.6	2.5	4.1	5.3	5.4	6.5	7.3	7.7	7.5	5.6	3.7
30	3.1	3.0	2.9	4.2	5.1	5.5	7.1	8.0	8.3	7.7	5.9	3.9
40	3.6	3.3	3.0	4.3	5.2	5.6	6.7	7.4	7.6	7.3	5.8	4.3
50	4.0	3.5	3.1	4.3	5.4	5.4	5.8	5.9	6.2	6.4	5.5	4.7
60	4.1	3.5	3.1	4.2	5.3	5.1	4.9	4.8	5.1	5.6	5.2	4.8
70	3.9	3.5	3.1	4.0	4.8	4.7	4.7	4.7	4.8	5.1	4.7	4.4
80	3.6	3.3	3.2	4.0	4.3	4.4	4.6	4.6	4.6	4.6	4.2	3.9
85°S	3.6	3.4	3.3	4.1	4.2	4.2	4.3	4.2	4.2	4.3	3.9	3.8

Таблица 8 *h<sub>p</sub>F<sub>2</sub>* июнь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	317	318	313	293	291	294	297	300	301	296	312	328
80	309	307	299	276	269	268	270	275	279	278	293	313
70	303	303	295	267	255	243	243	251	258	259	274	298
60	332	329	321	286	268	251	249	258	266	268	288	325
50	346	336	330	294	274	260	257	264	269	270	295	343
40	322	311	312	283	268	267	265	265	259	254	280	328
30	281	278	288	272	269	288	289	277	257	239	260	294
15	249	262	280	280	298	351	365	337	294	256	259	260
0	275	286	286	298	322	411	442	407	354	305	294	270
15	315	303	300	291	306	412	454	423	372	328	317	296
30	329	302	295	276	278	368	403	381	341	308	309	313
40	327	305	301	279	276	340	364	348	317	292	300	317
50	323	315	313	290	287	323	333	328	311	289	298	314
60	316	322	317	296	295	312	324	319	310	296	299	303
70	300	317	309	291	295	304	315	314	311	299	297	286
80	280	308	310	300	311	313	318	313	307	292	293	282
85°S	270	307	317	315	333	330	329	320	311	293	297	287

Таблица 9

 $f_o F2$ 

сентябрь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	2.5	2.6	2.9	3.5	3.7	4.0	4.0	3.8	3.5	3.2	2.6	2.5
80	2.4	2.4	2.5	3.0	3.7	4.2	4.5	4.5	4.3	3.8	3.0	2.6
70	2.8	2.6	2.4	2.9	4.3	5.0	5.3	5.3	5.0	4.5	3.6	3.1
60	3.1	2.9	2.6	3.4	5.1	5.8	5.7	5.4	5.1	4.6	3.6	3.4
50	3.2	3.1	3.0	3.6	5.7	6.7	6.6	6.2	5.8	5.0	3.8	3.5
40	3.6	3.3	3.0	3.5	6.2	7.5	7.8	7.5	7.0	5.9	4.5	4.0
30	4.1	3.6	2.9	3.5	6.6	7.9	8.4	8.3	7.9	6.9	5.6	4.8
15	4.8	3.8	2.7	3.7	7.0	7.6	7.7	7.7	7.9	7.9	6.9	6.0
0	4.5	3.5	2.5	4.1	7.0	7.0	7.3	7.6	8.3	8.8	7.5	6.0
15	3.4	2.9	2.3	4.1	6.5	6.8	8.3	9.3	9.9	9.6	7.3	4.8
30	2.8	2.7	2.6	4.0	6.0	7.0	9.0	10.1	10.3	9.2	6.4	3.8
40	3.1	3.0	2.9	4.1	5.8	6.8	8.2	8.8	8.8	7.8	5.6	3.8
50	3.6	3.4	3.2	4.3	5.8	6.3	6.7	6.7	6.6	6.2	4.9	4.1
60	3.7	3.4	3.2	4.2	5.6	5.7	5.6	5.4	5.3	5.3	4.6	4.2
70	3.2	2.9	2.7	3.7	5.0	5.3	5.4	5.4	5.4	5.2	4.3	3.7
80	2.5	2.4	2.3	3.2	4.3	4.7	5.0	5.0	5.0	4.7	3.6	2.9
85°S	2.5	2.4	2.4	3.2	4.0	4.3	4.4	4.4	4.3	4.1	3.2	2.8

Таблица 10

 $h_p F2$ 

сентябрь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	292	303	301	289	294	299	302	301	298	289	301	306
80	309	306	299	279	276	284	289	292	292	287	301	315
70	306	298	290	267	259	266	270	274	275	273	290	313
60	291	287	283	263	256	250	247	253	257	257	279	307
50	293	288	285	263	254	248	245	250	253	253	274	305
40	304	297	290	265	257	270	278	278	272	265	277	298
30	307	302	293	270	269	314	338	328	308	287	284	282
15	286	292	285	277	294	379	419	394	356	316	295	255
0	275	276	275	275	297	392	430	401	356	314	298	263
15	303	277	276	264	268	351	378	356	315	283	292	306
30	331	286	284	255	249	302	320	307	276	257	282	334
40	329	291	286	256	238	284	298	291	268	254	278	328
50	315	294	288	260	248	276	287	284	271	261	278	310
60	311	303	294	267	256	268	277	279	275	269	280	299
70	321	317	306	274	260	262	270	274	276	273	282	303
80	317	319	311	283	272	271	276	279	279	274	284	303
85°S	300	309	306	284	280	279	282	283	281	273	283	295



Таблица II

 $f_oF2$ 

декабрь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	4.1	4.3	4.3	5.2	5.0	5.0	5.1	5.0	4.9	5.0	4.6	4.6
80	4.5	4.3	4.3	5.2	5.2	5.3	5.4	5.2	5.1	5.1	4.7	4.7
70	4.8	4.6	4.5	5.3	5.6	6.0	6.2	6.1	5.8	5.5	5.1	5.0
60	5.4	5.1	4.8	5.4	5.8	6.6	7.3	7.4	7.0	6.4	5.9	5.6
50	5.9	5.4	4.9	5.3	6.2	7.5	8.7	9.0	8.5	7.5	6.8	6.3
40	5.9	5.4	4.6	4.9	6.6	8.2	9.6	10.0	9.4	8.2	7.3	6.5
30	5.5	4.8	4.0	4.6	6.8	8.2	9.3	9.6	9.2	8.3	7.2	6.2
15	4.7	3.8	3.0	4.1	6.8	7.6	7.6	7.6	7.8	7.7	6.6	5.7
0	4.6	3.5	2.4	3.7	6.9	7.2	7.2	7.1	7.5	7.8	6.8	5.8
15	4.9	3.7	2.5	3.1	7.1	8.4	8.8	8.8	8.7	8.2	7.0	6.0
30	4.2	3.5	2.7	2.7	6.4	8.6	9.4	9.3	8.6	7.0	5.6	4.8
40	3.3	3.1	2.8	2.7	5.5	7.5	8.1	7.9	7.0	5.3	3.9	3.5
50	2.7	2.9	2.9	2.9	4.6	6.5	6.5	6.1	5.1	3.7	2.6	2.6
60	2.9	3.0	3.1	3.0	4.4	5.8	5.7	5.2	4.3	3.1	2.4	2.7
70	3.2	3.1	3.0	2.6	4.2	5.9	6.0	5.7	4.5	3.1	2.6	3.0
80	2.2	3.3	2.2	1.7	2.9	4.6	5.0	4.9	3.9	2.4	1.8	2.0
85°S	1.7	1.9	2.0	1.7	2.1	3.3	3.9	3.9	3.2	2.0	1.5	1.5

Таблица I2

 $h_pF2$ 

декабрь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	287	317	317	323	327	322	321	316	310	296	304	302
80	296	316	317	302	307	306	306	306	302	296	296	298
70	303	309	304	286	286	296	303	302	297	286	295	302
60	298	300	301	289	294	308	310	306	298	287	305	323
50	297	198	304	296	304	324	324	318	305	292	313	332
40	303	303	307	300	310	346	355	344	325	305	319	327
30	306	309	307	301	317	375	398	382	356	329	328	313
15	290	302	296	301	332	413	447	426	395	360	354	292
0	262	279	277	289	325	395	421	404	378	347	334	284
15	260	267	266	266	284	319	331	323	310	293	297	283
30	290	281	276	253	244	254	285	259	255	250	267	294
40	311	295	288	255	237	242	247	250	248	246	265	303
50	320	304	295	261	242	247	252	256	255	252	271	309
60	315	304	295	263	247	245	248	254	257	257	274	307
70	310	307	298	367	252	232	229	241	252	258	277	308
80	313	322	314	288	278	245	236	250	268	275	295	320
85°S	308	323	319	298	295	269	263	272	285	287	303	318

Таблица 13

$f_oE$  июнь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	1.9	2.3	2.7	2.8	2.9	2.9	3.0	3.1	2.8	2.8	2.6	2.2
80	1.9	2.3	2.6	2.7	2.9	2.9	3.0	3.1	2.7	2.7	2.5	2.1
70	1.5	1.9	2.3	2.6	2.9	3.0	3.1	3.1	2.8	2.6	2.2	1.8
60	1.0	1.3	1.8	2.4	3.0	3.1	3.2	3.2	3.0	2.5	1.8	1.3
50	0.7	0.9	1.5	2.4	3.1	3.2	3.3	3.3	3.1	2.5	1.5	1.0
40	0.7	0.9	1.4	2.4	3.1	3.3	3.4	3.4	3.1	2.4	1.4	0.9
30	0.7	0.9	1.4	2.2	3.0	3.4	3.5	3.5	3.1	2.2	1.3	0.9
15	0.8	0.9	1.2	1.8	2.9	3.4	3.6	3.5	3.0	2.0	1.2	0.9
0	0.8	0.9	1.1	1.7	2.8	3.4	3.6	3.5	2.9	1.9	1.2	0.9
15	0.8	0.9	1.2	1.7	2.8	3.3	3.4	3.2	2.6	1.7	1.2	1.0
30	0.8	0.8	1.0	1.5	2.5	3.0	3.0	2.9	2.2	1.5	1.1	0.9
40	0.6	0.6	0.7	1.1	2.2	2.7	2.8	2.6	2.0	1.3	1.0	0.8
50	0.6	0.6	0.6	0.9	1.8	2.3	2.4	2.3	1.8	1.3	1.0	0.8
60	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	1.9	2.0	2.0	1.6	1.3	1.1	0.9
70	1.0	1.3	1.4	1.3	1.5	1.5	1.6	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2
80	1.1	1.3	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.3	1.2
85°S	1.0	1.2	1.2	1.0	1.2	1.3	1.3	1.3	1.0	1.0	1.2	1.1

Таблица 14

$f_oE$  июнь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	1.8	2.2	2.6	2.7	2.9	2.8	2.8	2.8	2.4	2.4	2.3	2.0
80	1.7	2.1	2.5	2.6	2.8	2.7	2.8	2.8	2.5	2.4	2.3	1.9
70	1.4	1.7	2.1	2.4	2.7	2.8	2.9	2.9	2.6	2.4	2.0	1.6
60	0.9	1.1	1.6	2.3	2.8	2.9	3.0	3.0	2.8	2.3	1.6	1.1
50	0.7	0.9	1.4	2.2	2.9	3.1	3.1	3.1	2.9	2.2	1.4	0.9
40	0.7	0.9	1.4	2.2	2.9	3.1	3.3	3.2	2.9	2.2	1.4	0.9
30	0.8	1.0	1.4	2.1	2.9	3.2	3.4	3.3	3.0	2.1	1.3	0.9
15	0.8	1.0	1.3	2.0	2.9	3.3	3.4	3.3	2.9	1.9	1.2	0.9
0	0.7	0.8	1.1	1.7	2.7	3.2	3.3	3.2	2.6	1.7	1.0	0.7
15	0.7	0.8	1.0	1.5	2.4	2.9	3.1	3.0	2.4	1.5	1.0	0.8
30	0.8	0.9	1.0	1.3	2.1	2.7	2.9	2.8	2.3	1.5	1.0	0.8
40	0.7	0.8	0.9	1.2	2.0	2.5	2.7	2.6	2.1	1.4	0.9	0.8
50	0.7	0.8	0.9	1.1	1.8	2.1	2.3	2.2	1.8	1.2	0.9	0.7
60	0.8	0.9	1.0	1.1	1.4	1.6	1.7	1.7	1.4	1.2	1.0	0.9
70	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.2
80	1.1	1.4	1.4	1.1	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.3	1.4	1.3
85°S	1.1	1.3	1.4	1.2	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.2

Таблица 15

$f_oF$  сентябрь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	1.3	1.6	2.0	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.2	2.0	1.7	1.4
80	1.2	1.5	1.8	2.2	2.4	2.4	2.5	2.4	2.2	1.9	1.6	1.3
70	0.9	1.0	1.4	1.9	2.3	2.5	2.5	2.5	2.2	1.8	1.3	1.0
60	0.7	0.8	1.1	1.7	2.5	2.8	2.8	2.8	2.4	1.8	1.2	0.8
50	0.6	0.7	1.1	1.7	2.6	3.0	3.1	3.0	2.6	1.8	1.1	0.8
40	0.6	0.8	1.1	1.7	2.7	3.1	3.3	3.2	2.7	1.8	1.1	0.7
30	0.7	0.8	1.1	1.8	2.7	3.2	3.4	3.3	2.8	1.9	1.1	0.8
15	0.7	0.8	1.1	1.8	2.9	3.4	3.5	3.4	2.9	1.9	1.9	0.8
0	0.8	0.9	1.2	1.8	2.9	3.5	3.6	3.5	2.9	1.9	1.2	0.9
15	0.8	0.9	1.2	1.7	2.8	3.3	3.5	3.4	2.8	1.8	1.2	0.9
30	0.6	0.7	1.0	1.6	2.6	3.1	3.3	3.2	2.8	1.8	1.0	0.7
40	0.5	0.6	0.8	1.5	2.5	3.0	3.2	3.1	2.7	1.8	1.0	0.7
50	0.6	0.6	0.9	1.5	2.4	3.0	3.1	3.0	2.5	1.7	1.1	0.8
60	0.8	0.9	1.1	1.5	2.4	2.8	2.9	2.7	2.2	1.6	1.2	1.0
70	1.0	1.2	1.4	1.7	2.3	2.4	2.5	2.4	1.9	1.5	1.3	1.1
80	0.9	1.2	1.4	1.7	2.0	2.1	2.1	2.1	1.9	1.6	1.3	1.1
85°S	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.0	2.0	2.1	1.9	1.8	1.5	1.1

Таблица 16

$f_oF$  сентябрь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	1.2	1.5	1.9	2.3	2.6	2.4	2.4	2.4	2.1	1.6	1.3	1.1
80	1.1	1.3	1.7	2.0	2.4	2.3	2.4	2.3	2.0	1.6	1.3	1.1
70	0.8	1.0	1.3	1.6	2.2	2.4	2.5	2.5	2.1	1.6	1.2	0.9
60	0.7	0.8	1.0	1.6	2.3	2.7	2.8	2.7	2.3	1.5	1.0	0.7
50	0.7	0.8	1.1	1.7	2.5	2.9	3.0	2.9	2.4	1.6	1.0	0.8
40	0.9	1.0	1.3	1.9	2.7	3.0	3.1	3.0	2.5	1.8	1.2	1.0
30	1.0	1.2	1.5	2.0	2.8	3.1	3.2	3.1	2.6	1.9	1.4	1.1
15	0.9	1.1	1.4	1.9	2.8	3.3	3.4	3.3	2.8	1.9	1.3	1.0
0	0.7	0.8	1.1	1.8	2.8	3.3	3.4	3.3	2.8	1.7	1.0	0.7
15	0.7	0.8	1.0	1.7	2.7	3.1	3.2	3.1	2.6	1.7	1.0	0.7
30	0.8	0.9	1.2	1.7	2.5	2.9	3.1	3.0	2.5	1.7	1.1	0.9
40	0.8	0.9	1.2	1.7	2.6	2.9	3.0	2.9	2.5	1.7	1.1	0.8
50	0.7	0.9	1.1	1.6	2.4	2.8	2.9	2.8	2.4	1.5	1.0	0.7
60	0.7	0.8	1.0	1.4	2.2	2.5	2.7	2.6	2.2	1.4	0.9	0.7
70	0.8	0.9	1.0	1.2	1.9	2.2	2.3	2.2	1.8	1.3	1.1	0.9
80	0.8	1.0	1.1	1.3	1.7	1.9	2.0	1.9	1.6	1.3	1.1	1.0
85°S	0.8	0.9	1.1	1.4	1.7	1.8	1.9	1.8	1.6	1.3	1.0	0.9

Таблица I7

 $f_oE$  декабрь 1962 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	1.7	2.0	2.7	3.2	3.2	2.8	2.5	2.4	2.1	2.5	2.4	2.1
80	1.5	1.9	2.4	2.7	2.8	2.4	2.2	2.2	1.9	2.1	2.1	1.8
70	1.0	1.3	1.4	1.4	1.7	1.8	1.8	1.8	1.4	1.2	1.1	1.1
60	0.7	0.8	0.8	0.9	1.5	1.8	1.9	1.8	1.4	0.9	0.7	0.7
50	0.6	0.7	0.7	0.9	1.8	2.2	2.3	2.2	1.7	1.0	0.8	0.7
40	0.6	0.7	0.8	1.2	2.1	2.0	2.7	2.6	2.1	1.3	0.9	0.7
30	0.7	0.8	0.9	1.3	2.3	2.8	3.0	2.9	2.3	1.4	0.9	0.7
15	0.8	0.8	1.0	1.5	2.5	3.1	3.3	3.1	2.5	1.0	1.1	0.8
0	0.8	0.9	1.1	1.7	2.8	3.3	3.4	3.3	2.7	1.9	1.3	1.0
15	0.8	0.9	1.3	1.9	2.9	3.4	3.5	3.4	2.9	2.2	1.4	1.0
30	0.7	0.9	1.3	2.1	2.9	3.3	3.5	3.4	3.1	2.3	1.4	0.9
40	0.7	0.9	1.3	2.1	2.9	3.3	3.4	3.4	3.1	2.4	1.4	0.9
50	0.9	1.1	1.5	2.0	2.9	3.2	3.3	3.3	3.0	2.4	1.6	1.1
60	1.2	1.5	2.0	2.4	2.9	3.0	3.1	3.1	2.9	2.5	1.9	1.4
70	1.6	2.0	2.4	2.6	2.8	2.8	2.9	2.9	2.7	2.6	2.2	1.8
80	1.7	2.1	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.5	2.5	2.3	2.0
85°S	1.7	2.1	2.4	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.4	2.5	2.3	2.0

Таблица I8

 $f_oE$  декабрь 1964 г.

часы	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
85°N	1.3	1.9	1.7	3.4	3.0	2.4	2.3	2.4	2.4	1.9	1.3	1.1
80	1.2	1.7	2.3	2.8	2.6	2.1	2.1	2.1	2.1	1.6	1.2	1.0
70	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	1.7	1.7	1.7	1.4	1.0	0.8	0.7
60	0.5	0.6	0.6	0.8	1.4	1.8	1.9	1.7	1.3	0.8	0.6	0.6
50	0.6	0.7	0.8	1.0	1.8	2.2	2.3	2.1	1.7	1.1	0.8	0.7
40	0.8	0.9	1.1	1.4	2.2	2.6	2.7	2.6	2.1	1.4	1.1	0.9
30	0.9	1.0	1.2	1.6	2.4	2.8	3.0	2.9	2.3	1.7	1.2	1.0
15	0.8	0.9	1.1	1.6	2.6	3.1	3.2	3.1	2.5	1.7	1.2	1.0
0	0.8	0.9	1.2	1.8	2.8	3.2	3.4	3.2	2.7	1.8	1.1	0.9
15	0.8	1.0	1.4	2.1	2.9	3.3	3.4	3.3	2.9	2.0	1.2	0.9
30	0.8	1.0	1.4	2.2	2.9	3.2	3.4	3.3	3.0	2.2	1.3	0.8
40	0.7	0.9	1.4	2.2	3.0	3.2	3.3	3.3	3.0	2.2	1.3	0.9
50	0.8	1.0	1.5	2.4	3.0	3.2	3.3	3.2	2.9	2.1	1.3	0.9
60	1.2	1.5	2.0	2.6	3.1	3.1	3.2	3.1	2.8	2.2	1.6	1.3
70	1.6	2.0	2.4	2.7	2.9	2.9	3.0	3.0	2.6	2.4	2.1	1.8
80	1.9	2.3	2.5	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8	2.4	2.5	2.5	2.2
85°S	1.9	2.3	2.4	2.2	2.5	2.7	2.8	2.8	2.5	2.3	2.4	2.2

# ЛИТЕРАТУРА

- I. L.G.Jacchia. Variations in thermospheric composition: a model based on mass spectrometer and satellitedrag data. S.A.O. Spes. Rep. N 354, 1973.
2. Иванов-Холодный Г.С., Величанский Б.Н. Сб. Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца, вып. 26, М., "Наука", 1973.
3. Иванов-Холодный Г.С., Фирсов В.В. Геомагнетизм и аэронаука, т. 14, 393, 1974.
4. Беников А.И., Величанский Б.Н., Ивельская М.К., Климов Н.Н., Топорков В.Н. Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца, вып. 7, 123, 1969.
5. Митра С.К. Верхняя атмосфера, ИЛ, 1955.
6. Иванов-Холодный Г.С. Геомагнетизм и аэронаука, 14, № 3, 1974.
7. Иванов-Холодный Г.С., Никольский Г.М. Солнце и ионосфера, Москва, "Наука", 1969.
8. E.E.Ferguson et al. Journ. Chem. Phys., 50, 5039, 1969.
9. Ивельская М.К., Суходольская В.Е. Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца, вып. 27, 150-156, 1973.
10. Данилов А.Д., Власов М.Н. Фотохимия ионизированных и возбужденных частиц в нижней ионосфере. Гидрометеоиздат, Ленинград, 1973.
11. Сутырина Г.Е., Шапранова Г.В. Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца, вып. 41, М., "Наука", 1977.
12. J.V.Evans. Planet and Space Sci., v.13, N 11, 1031, 1965.
13. J.V.Evans. Planet and Space Sci., v. 15, N 9, 1387, 1967.
14. P.M.Banks. Planet.Space Sci., v.15, N 1, 77-95, 1967.
15. Поляков В.М., Щепкин Л.А., Казимировский Э.С., Кокоуров В.Д. Ионосферные процессы, Новосибирск, "Наука", 1968.
16. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М., "Наука", 1967.
17. A.J.Dalgarno. J.Atmosph. and Terr. Phys. 26, 239, 1964.
18. Ивельская М.К., Сутырина Г.Е., Суходольская В.Е. Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца, вып. 41, М., "Наука", 1977.

19. Ивельская М.К., Суходольская В.Е., Сутырина Г.Е., Шапранова Г.В. Полуэмпирическая модель ионосферы в стационарном и нестационарном приближении. Всесоюзная конференция по физике ионосферы, Ашхабад, 1976.
20. Вертлиб А.Б. Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца, вып. 5, 154-159, 1969.
21. Двинских Н.И. Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца, вып. 13, 13-32, 1970.
22. Мещерская А.В., Руховец Л.В., Юдин М.И., Яковлева Н.И. Естественные составляющие метеорологических полей. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1970.
23. Суходольская В.Е., Федченко З.А. Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца, вып. 27, 157-164, 1973.
24. Боенков М.В. Труды института физики и геофизики АН Туркменской ССР, вып. 5, 47, 1958.
25. T.Shimasaki. Journ. Radio Res. Laboratories of Japan, N 2, 85, 1955.
26. P.Stubbe, S.Chandra. Journ.Atmosph.Terr.Phys., 32, 1909, 1970.
27. J.S.Nisbet. On the construction and use of the Penne state MK-I ionospheric model. Ionospheric research, 1970, Sci. Rep. N 355, N 362 (E). University Park Pennsylvania. NASA.
28. K.Rawer, R.S.Krishnan. Tentative Tables of Electron Density and Excess Electron Temperature for temperate Latitude. Freiburg FRG August 1972.
29. Мальцева О.А. Геомагнетизм и аэрономия, т. 9, № 5, 936, 1969.
30. R.V. Rao. J. Geophys. Res., v.73, 5, 1661-1678, 1968.
31. Соболева Т.М. Модельные профили суточного распределения электронной концентрации спокойной ионосферы на средних широтах. Препринт № 20, ИЗМИРАН, Москва, 1972.
32. Данилов А.Д., Власов М.Н. Труды института прикладной геофизики. Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, вып. 19, 12-30, 1973.
33. P.J.Stubbe. J Atmosph. and Terr. Phys., 32, 865-903, 1970.
34. H.C.Carlson, W.E.Gordon. J. Atmosph. and Terr.Phys. 32, 865-903, 1970.
35. S.J.Bauer. Annales de Geophys. 22, N 2, 247-254, 1966.
36. S.J.Bauer, L.J.Blumle. J. Geoph. Res. 69, 3613, 1964.

37. Несторов Г. Геомагнетизм и аэрономия, т. 12, № 1, 44, 1972.
38. Шлионский Ш.Г., Соболева Т.Н., Лещинская Т.Ю. Геомагнетизм и аэрономия, т. 12, № 5, 925, 1972.
39. A.V. Groves. Air Force Surveys in Geophysics, N 218, 1970.

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам Харьковского политехнического института и СибИЗМИРА, предоставившим экспериментальные данные для проверки модели; заведующей ионосферным отделом А.Н. Суходольской за помощь в подборе исходного материала для эмпирической части модели, а также работникам лаборатории физики ионосферной плазмы НИИПФ при ИГУ за помощь при разработке модели.



# СОДЕРЖАНИЕ

	<u>Стр.</u>
ВВЕДЕНИЕ .....	5
§ 1. Детерминированная часть модели .....	9
§ 2. Эмпирическая часть модели .....	20
§ 3. Коррекция модели .....	27
§ 4. Результаты, даваемые моделью, и их сравнение с экспериментом .....	31
§ 5. Расчет $N(h)$ профилей вдоль заданной радио- трассы (описание и распечатка программы)...	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	64
Рисунки .....	65
Таблицы .....	99
Литература .....	108

# CONTENTS

INTRODUCTION .....	5
§ 1. Determinated part of the model .....	9
§ 2. Empirical part of the model .....	20
§ 3. Correction of the model .....	27
§ 4. The results of the model and their comparison with the experiments .....	31
§ 5. Computation of $N(h)$ profiles among certaine radiotrace (description and reprint of program)	40
Conclusion .....	64
Illustrations .....	65
Tables .....	99
Literature .....	108

---

Формат бумаги 60x84 1/8

В печать от 22/III-1978 г.

Тираж 500 экз.

Печ. л. 14,0

Уч.-изд. л. 5,17 Цена 16 коп. Заказ 3357

---

Производственно-издательский комбинат ВИНТИ

Люберцы, Октябрьский проспект, 403