

154.1993
РФФ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА УКРАИНЫ
(ГНТБ УКРАИНЫ)

СПРАВКА
О ДЕПОНИРОВАНИИ
НАУЧНОЙ РАБОТЫ

Выдана настоящая гр. Токов А.И.
в том, что в справочно-информационном фонде
ГНТБ Украины депонирована его научная работа

Об одной особенности симметричных
решений краевых при радиозондировании
континентальной шельфы методом гравиметри-
ческой техники.

25.01.94. № 126-Ук94

Библиографическое описание настоящей научной
работы опубликовано в библиографическом указате-
ле Библиотечка "Депонированные научные работы",
1994, № _____, б/о _____.

В соответствии с Инструкцией о порядке депо-
нирования научных работ по естественным, техни-
ческим и общественным наукам, авторы депонирован-
ных научных работ сохраняют права, вытекающие из
законодательства об авторском праве, но не могут
претендовать на выплату гонорара. Депонированные
научные работы приравниваются к опубликованным
печатным изданиям.

Зам. директора ГНТБ Украины

Л.И.Котенко

ЛПН ГКНТ. Зек. 124к-5000



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Дек. в ГНТБ Украины 25.01.94
Дек. № 176 - Ук 94.

УДК 550.388.2
ГАСНТИ 29.35

А. М. Гокюв

ОБ ОДНОЙ ОСОБЕННОСТИ АМПЛИТУДНЫХ РЕГИСТРАЦИЙ ПРИ
РАДИОЗОНДИРОВАНИИ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ МЕТОДОМ ЧАСТИЧНЫХ
ОТРАЖЕНИЙ

Харьков 1993

I. Введение. Постановка задачи. Для изучения пространственно-временных вариаций основных параметров D-области ионосферы широко применяется метод частичных отражений (ЧО) (см., например, работы [1-3]), позволяющий получать с относительно малой погрешностью ($\leq 30\%$) сведения о пространственно-временных изменениях плотности электронов N , частоты столкновений электронов с нейтралами ν , параметрах рассеивающих неоднородностей и т.д. [4-6]. Как правило, используются высотно-временные регистрации амплитуд ЧО сигналов обыкновенной $A_o(h,t)$ и необыкновенной поляризации $A_n(h,t)$ (здесь h - высота, t - время) на частотах $f = 2-6$ МГц. Для получения профиля $N(h)$ используют отношение средних за время измерений (обычно 8-15 минут) квадратов амплитуд $a(h) = \overline{A_n^2} / \overline{A_o^2}$, которое связано с N и ν соотношением [7,8] (известная методика дифференциального поглощения)

$$a(h) = R(\nu) P_1(h) P_2(h) \exp \left[- \int_{h_0}^h K(h') N(h') dh' \right], \quad (1)$$

где $R = |\Delta \epsilon_n|^2 / |\Delta \epsilon_o|^2$ - отношение коэффициентов отражения для "н" и "о" волн, $\Delta \epsilon_{qn}$ - флуктуации диэлектрической проницаемости ионосферной плазмы ϵ_{qn} , $P_1(h) = (\gamma_o \delta \mu_n / \gamma_n \delta \mu_o)$ - описывает дифференциальное поглощение "о" и "н" компонент в рассеивающем объеме $l = c \tau_n / 2$, c - скорость света в вакууме, τ_n - длительность зондирующих импульсов, $\gamma_{qn} = \omega \tau_n \chi_{o,n}$, $\omega = 2\pi f$, $P_2 = \exp \left\{ - \frac{\tau^2}{4} [(\chi_n^2 - \chi_o^2) - (\nu_n^2 - \nu_o^2)] \right\}$ - множитель, описывающий различие пространственных флуктуаций N , ν_{qn} и χ_{qn} - действительная и мнимая части ϵ_{qn} . Предполагается, что ЧО сигналы обусловлены флуктуациями плотности электронов N .

$$K = \frac{8\omega_p^2 \nu \omega \omega_n}{c [(\omega + \omega_n)^2 + \nu^2] [(\omega - \omega_n)^2 + \nu^2]},$$

$\omega_p^2 = e^2 / \epsilon_m$, $\omega_n = e B_0 \sin \chi / \mu$, B_0 - индукция магнитного поля Земли, χ - угол между \vec{B} и вертикалью, ϵ - диэлектрическая проницаемость вакуума, e и m - заряд и масса электрона.

Задаваясь модельным профилем $\nu(h)$, электронную концентрацию N получают путем численного решения уравнения (1)

(см., например, [9]) (часто без учета сомножителей P_1 и P_2). В [10] эта задача сведена к решению интегрального уравнения Вольтерры I рода с использованием метода регуляризации Тихонова, в случае, когда профили $a(h)$ и $v(h)$ заданы с погрешностью. В общем же случае с учетом сомножителей P_1 и P_2 задача сводится к решению интегрального линейного неоднородного уравнения Фредгольма II рода теми же методами

$$f(h) = N(h) - \lambda \int_{h_0}^h K(h') N(h') dh', \quad (2)$$

где $\lambda = \sqrt{g(h)}$, $f(h) = f'(h)/g(h)$, $f'(h) = k_0 \frac{a}{R}$, $g(h) N(h) = k_0 [P_1 \cdot P_2]$, h_0 - начальная высота.

При использовании рабочих частот $f \leq 2-3$ МГц сравнительно часто на экспериментальных зависимостях $a(h)$ на высотах $h \geq 80-85$ км имеет место характерный загиб (изменение знака $grad a$: смотри экспериментальную кривую I на рис. I; кривые 2-3 - теоретические (модельные) зависимости $a(h)$ для $f = 2$ и 3 МГц, рассчитанные, как и в [10], по формуле (I); кривые 4-5 - усредненные за 10 минут зависимости $A_0(h)$ и $A_n(h)$, полученные, как и кривая I, в измерениях 30.07.81 г. в 09.30 LT при $r_u = 25$ км и $f = 2,583$ МГц вблизи г. Харькова). Отмеченная особенность в поведении $a(h)$ уменьшает (часто существенно) высотный диапазон Δh , в котором можно получить $N(h)$ по (I), поскольку в этой методике значения N ($N > 0$) получает при условии $grad a > 0$.

В настоящей работе анализируются возможные причины такого поведения экспериментальных профилей $a(h)$ и приводятся рекомендации по их учету при получении $N(h)$ и $v(h)$.

2. Анализ экспериментальных данных. Проанализировано около $4 \cdot 10^3$ экспериментальных профилей $a(h)$, полученных в различных гелиогеофизических условиях на аппаратуре ХГУ [12] в различные сезоны года 1977-1993 гг. в средних широтах около г. Харькова.

Установлено, что второй максимум в высотном ходе $a(h)$ (см. рис. I), отмеченный авторами [11], обусловлен отражениями от спорадических слоев E_s или зеркальными отражениями.

Это подтверждается примерами на рис. 1, 2. В первом случае на рис. 1 ЧО сигналы имели место с $h = 75-87$ км, с $h \geq 87$ км зарегистрированы зеркальные отражения; во втором случае (на рис. 2) ЧО сигналы были с $h = 69-83$ км, с $h \geq 85$ км - зеркальные отражения (кривые получены в измерениях 30.07.81 в 14.00 LT).

Таким образом реально наблюдается только изменение величины $\text{grad } a(h)$, а не его знака.

Возрастание $a(h)$ (относительно модельных) на $h > 80$ км часто имеет место в случаях, когда на этих высотах дифференциальное поглощение магнитоионных компонент невелико, что возможно при малых N ($N \ll 10^2 \text{ см}^{-3}$) в этой области. В реальных условиях такое событие сравнительно часто наблюдается в среднеширотной D-области ионосферы: так называемая "впадина" в профиле $N(h)$ в области мезопаузы.

Подобное изменение $a(h)$ наблюдается и на меньших высотах ($h \approx 70$ км) когда в области $h \approx 60-70$ км существует слой повышенной ионизации с $N \geq 10^3 \text{ см}^{-3}$, вызываемые, например, потоками энергичных частиц. В качестве иллюстрации этого на рис. 3 приведены экспериментальные профили $A_{\text{CH}}(h)$, $a(h)$ и $N(h)$, полученные в период высыпания заряженных частиц во время сильной грозы 3.06.87 (16.11 LT, $f = 2,31$ МГц).

Отметим, что на малых высотах (в районе максимального $a(h)$) так же имеет место изменение (уменьшение) $\text{grad } a$.

Проанализируем возможные причины такого отличия экспериментальных профилей $a(h)$ от теоретических. Для этого используем выражение (1), связывающее $a(h)$ с параметрами среды, аппаратуры и ошибками измерений.

Основными возможными причинами "аномального" поведения $a(h)$ могут быть:

1. неполное разделение "о" и "н" компонент приемной аппаратурой [12];

2. трансформация магнитоионных компонент в магнитоактивной ионосфере;

3. расхождение импульсных объемов магнитоионных компонент в пространстве и влияние дифференциального поглощения "о" и "н" компонент в рассеивающем объеме (сомножители P_1 и P_2 в (1));

4. немонотонное изменение $N(h)$ и $V(h)$ (влияние экспоненциального множителя в (I));

5. радиопомехи и другие факторы.

Проанализируем далее влияние каждого из перечисленных факторов.

3. Результаты расчетов и их обсуждение. Согласно [4] неполное разделение "о" и "и" компонент в приемной системе (которое всегда, в большей или меньшей мере, имеет место в реальной аппаратуре) приводит к заметному уменьшению $grad a(h)$ на $h \geq 80$ км и $h \leq 70$ км; особенно это заметно при небольшом дифференциальном поглощении. Для устранения (или существенного уменьшения) влияния этого эффекта нами проведена проверка приемной аппаратуры и разработана методика [13] учета неполного разделения компонент (заметим, что проверка аппаратуры и методики проведена в совместных измерениях методом ЧО и импедансного зонда на ракетах по измерениям вблизи г. Волгограда). Как показал анализ регистрации ЧО сигналов с учетом реальной конструкции приемной аппаратуры установок ЧО ХГУ эффект неполного разделения компонент не дает наблюдаемого экспериментально изменения $a(h)$.

Эффект трансформации "о" и "и" компонент для $f = 2-3$ МГц на $h = 80-90$ км сравнительно невелик [14], составляет единицы процентов. Поэтому влияние его на $a(h)$ незначительно. Практически оценить его очень сложно.

Изменение $grad a$ возможно под действием факторов, описываемых множителями P_1 и P_2 в (I), поскольку, согласно [8], для $f \leq 2$ МГц и $\tau_n = 25, 50$ мкс $P_1 \sim 1-100$ при $h > 70$ км ($P_2 \sim 1-2$ для $f = 2-6$ МГц).

Заметим, что основной вклад в $a(h)$ в (I) вносит экспоненциальный множитель, в котором $K(h) = K(N, V)$. Как показывают расчеты, этот множитель по-разному изменяется для монотонного и немонотонного профилей $N(h)$ и $V(h)$: например, для профиля $N(h)$ со "впадиной" $a(h)$ заметно уменьшается на высотах выше "впадины" по сравнению с монотонным $N(h)$ (далее будут приведены результаты расчетов).

Как показали модельные расчеты [15], неполное вычитание радишумов $A_{н,о}(t)$ часто существенно искажает профиль $a(h)$, что приводит к большим ошибкам ($\sim 10-100\%$) в N (особен-

но заметно изменяется $\text{grad } a$ на малых и больших высотах ($h > 80 \text{ км}$ и $h \leq 70 \text{ км}$). Заметим, что регистрация $A_{o,n}(h,t)$ производится, как правило, на магнитную ленту или перфоленду, редко на киноленту. При этом при обработке первичных данных программным путем производится фильтрация импульсных помех. Однако помехи длительностью $\tau \approx 10 \text{ с}$ не всегда удается различить и отфильтровать (а они вносят существенную ошибку в $a(h)$), поэтому такие регистрации ЧО сигналов либо не используются в дальнейшем для получения $N(h)$, либо проводится их критический анализ с распечаткой $A_{o,n}(h,t)$.

Таким образом, перечисленные выше факторы могут приводить к изменению $\text{grad } a$. Кроме того, они практически всегда, за исключением сильной немонотонности $N(h)$ и $V(h)$, имеют место одновременно. Ниже приведены результаты численной проверки этого.

По формуле (1) проведены модельные расчеты a_1 (кривая 1 на рис. 4) для $f = 2,5 \text{ МГц}$, $\tau = 25 \text{ мкс}$, $N_1(h)$ и $V_1(h)$ (кривые 3 и 4) без учета перечисленных факторов и $a_2(h)$ (кривая 2) для немонотонного $N_2(h)$ (кривая 5) и $V_2(h)$ с их учетом. При этом задавались: $A_{o,n}^2 = 0,5 A_{o,n}^2$ (минимальное значение среднего за время измерений $A_{o,n}^2$); трансформация магнитных компонент задавалась по линейному закону от 0,5% до 7% с $h = 80 \text{ км}$ до $h = 90 \text{ км}$; неполное разделение "о" и "н" компонент приемной аппаратурой - 15%. Результаты расчетов показывают, что одновременное влияние перечисленных выше факторов приводит к заметному искажению профиля $a(h)$, наблюдаемому экспериментально. Для устранения (или существенного уменьшения) такого эффекта в каждом эксперименте необходимо контролировать первичные данные ($A_{o,n}(h,t)$) и вводить соответствующие поправки.

Выводы. Таким образом, "аномальное" поведение $a(h)$ на $h \geq 80 \text{ км}$ и $h \leq 70 \text{ км}$, наблюдаемое в экспериментах, возможно из-за одновременного влияния радиопомех, неполного разделения "о" и "н" компонент приемной аппаратурой и их трансформации в магнитоактивной ионосфере; из-за расхождения импульсных объемов "о" и "н" компонент в пространстве, дифференциального поглощения магнитных компонент в рассеивающем объеме, а так же из-за существенной немонотонности профилей

$N(h)$ и $v(h)$ (наличие резких слоев и впадин).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эмпирическая модель распределения электронной концентрации среднеширотной D -области ионосферы / В.В.Беликович, Е.А.Бенедиктов, В.Д.Вяхирев и др. // Геомагнетизм и аэронавигация. - 1992. - Т.32, В 6. - С.95 - 103.
2. Каталог профилей электронной концентрации в высокоширотной ионосфере, полученных методом частичных отражений: сравнение с результатами теоретической модели D -области ионосферы / Н.В.Смирнова, Ф.С.Сагидуллин, В.Г.Мизун и др. - Мурманск, 1987. - 30 с. (Препринт / ИГи АН СССР; #02-56)
3. Исследование вариаций параметров среднеширотной D -области ионосферы методом частичных отражений / А.М.Гоков, А.И.Гритчин, С.И.Мартыненко и др. // 16 Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Тезисы докладов. - Харьков, 1990. - С.25.
4. О погрешности определения концентрации электронов D -области ионосферы методом частичных отражений / В.В.Беликович, Е.А.Бенедиктов, В.Д.Вяхирев и др. // Геомагнетизм и аэронавигация. - 1983. - Т.23, В 2. - С.202-207.
5. Бенедиктов Е.А., Гришкевич Л.В., Иванов В.А. Одновременные измерения электронной концентрации и частоты соударений электронов в D -области ионосферы методом частичных отражений // Изв. вузов. Радиофизика. - 1972. - Т.15, В 5. - С.695-702.
6. Исследование погрешности определения скорости дрейфа мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации нижней ионосферы по анализу регистрации амплитуд частично отраженных сигналов / А.М.Гоков, В.А.Мисюра, Л.А.Пивень и др. // Космическая наука и техника. - Киев, 1989. - С.65-69.
7. Flood W.A. Revised theory for partial reflection D-region measurements // J. Geophys. Res. - 1968. - V.73. - P.555-5598.
8. Пивень Л.А., Федоренко В.П. Развитие метода частичных отражений. - Харьков: Харьк. ун-т, 1976. - 30 с. - Деп. в ВИНТИ 29.07.76, #2416-76.
9. О некоторых путях повышения информативности и точности

- метода частичных отражений / А.М.Гоков, А.И.Гритчин, Н.С. Дзюба и др. // Харьк. ун-т. - Харьков, 1985. - 15 с. - Деп. в УкрНИИТИ 25.07.85, №155 ЗУК-85д.
10. Гарман К.П. Регуляризация обратной задачи в методе частичных отражений // Вестник Харьк. ун-та. - 1991. - №355. - С. 60-63.
11. О природе частично отраженных сигналов / В.Л.Дорохов, Л.А.Пивень, В.П.Федоренко и др. // Геомagnetизм и астрономия. - 1988. - Т.28, №5. - С.867-868.
12. Стационарный комплекс аппаратуры для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений / А.И.Гритчин, В.Л.Дорохов, Л.Г.Концевая и др. // Вестник Харьк. ун-та. - 1988. - №318: Радиофизика и электроника. - С.21-24.
13. Гоков А.М. К вопросу о повышении точности метода частичных отражений // Вестник Харьк. ун-та. - 1986. - №285: Радиофизика и электроника. - С.54-57.
14. *Coombs D.J., Tammenbaum B.S. Mode coupling in partial reflections from the ionosphere at vertical incidence // Radio Sci. - 1972. - V.7, n.4. - p.457-464.*
15. Гоков А.М., Пивень Л.А., Федоренко В.П. К определению электронной концентрации D-области ионосферы по амплитудным измерениям частично отраженных сигналов // Радиотехника. - Харьков, 1990. - Вып.93. - С.108-111.

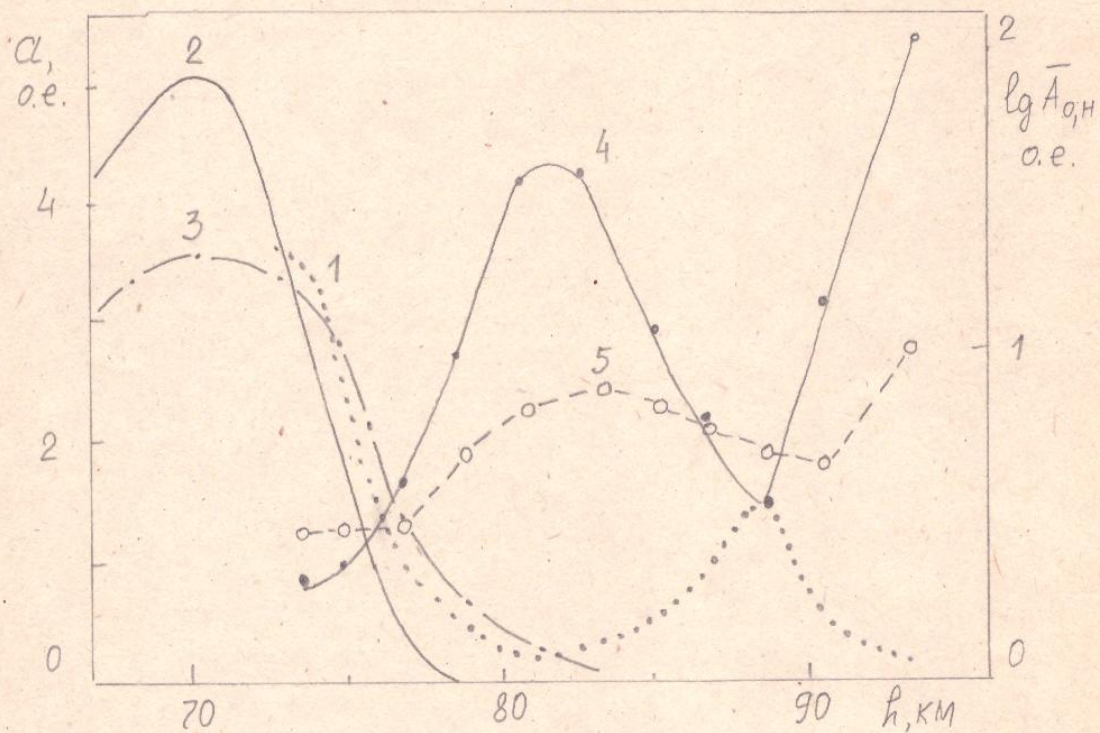


Рис. I Высотные профили $\bar{A}_{0,h}$ и α : кривые 1 ($\alpha(h)$), 4, 5 ($\bar{A}_{0,h}(h)$) получены в эксперименте 30.07.81 в 09.31 LT ; кривые 2, 3 - модельные профили $\alpha(h)$ для $f = 2$ и 3 МГц.

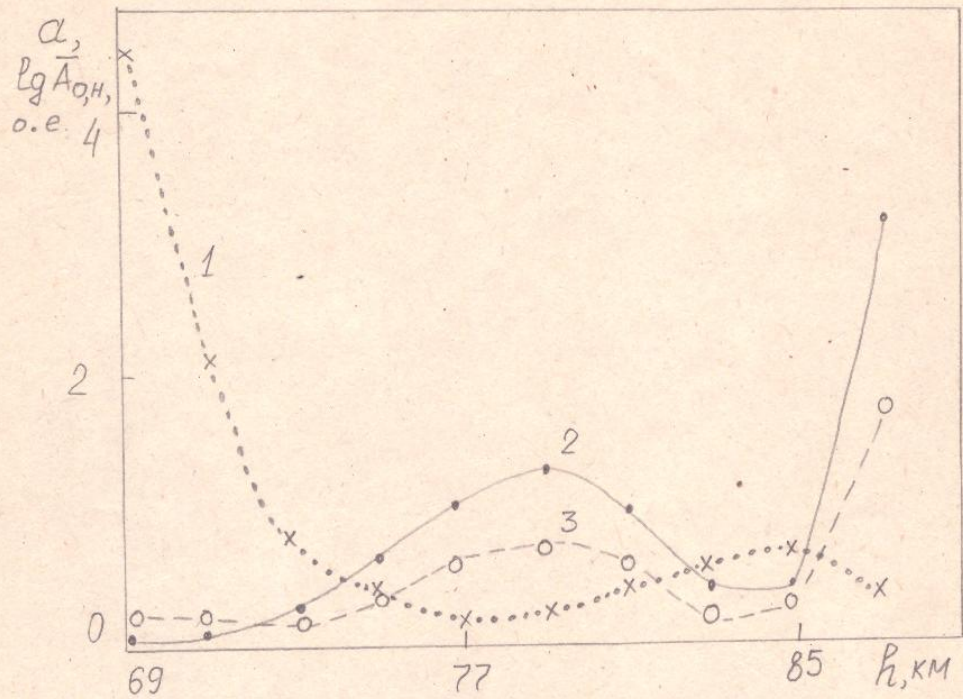


Рис. 2 Экспериментальные профили $\alpha(h)$ и $\bar{A}_{0n}(h)$ (кривые 1-3 соответственно), полученные 30.07.81 в 14.00 LT ($f = 2,58$ МГц).

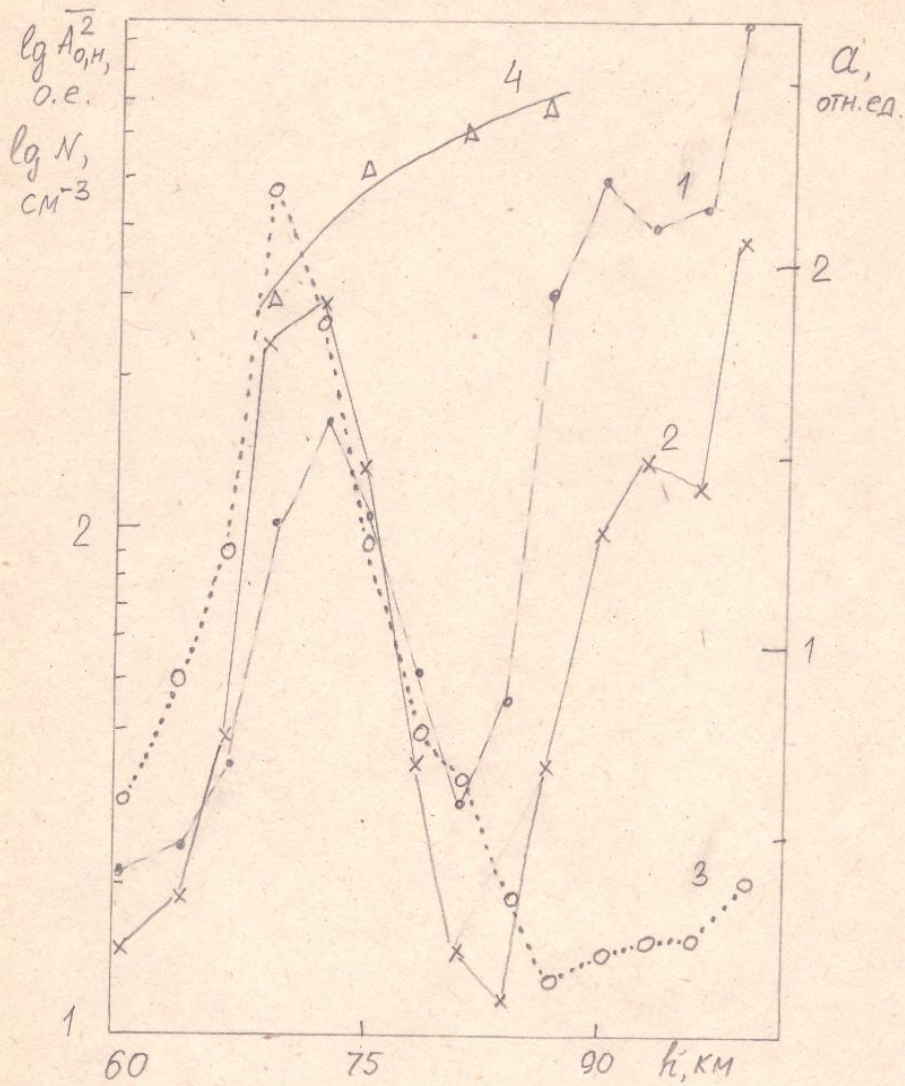


Рис. 3 Экспериментальные профили $\overline{A_{0n}(h)}$ (кривые 1, 2), $a(h)$ (кривая 3) и $N(h)$ (кривая 4), полученные в период высыпания заряженных частиц во время сильной грозы 3.06.87 (16.11 - 16.21 LT).

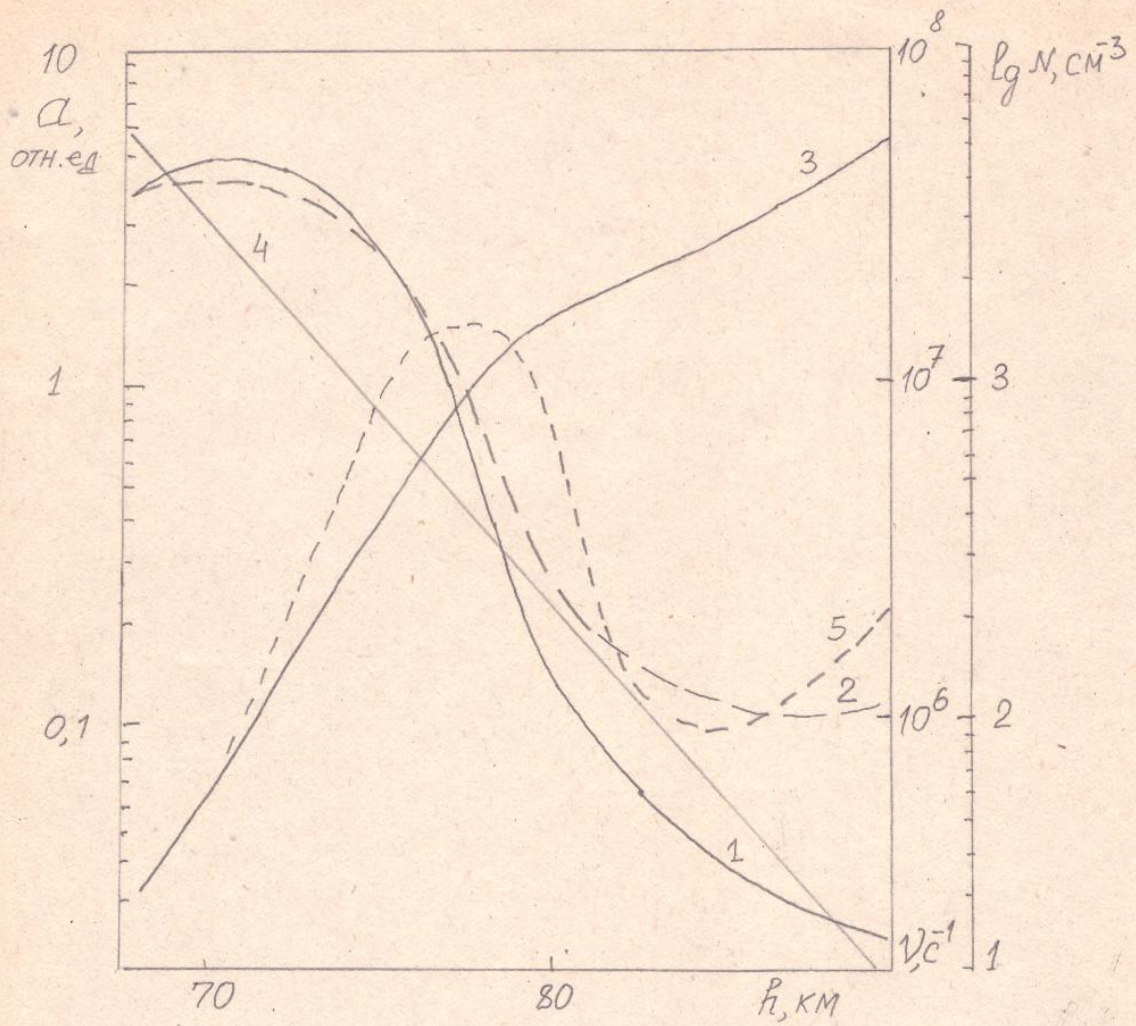


Рис. 4 Модельные зависимости $\alpha(h)$ для $f = 2,5$ МГц и $\tau_u = 25$ мкс (кривая 1 для $N_1(h)$ и $V(h)$ (кривые 3,4) и кривая 2 для $N_2(h)$ (5) и $V(h)$ (4) с учетом радиопомех, $P_1 P_2$, трансформации и неполного разделения "о" и "н" компонент).