

Академия наук  
СССР

Academy of Sciences  
USSR

ИНСТИТУТ  
КОСМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ



SPACE  
RESEARCH  
INSTITUTE

В. В. АФОНИН, Н. Ф. СМЕРНОВА

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА  
ПО ИЗМЕРЕНИЮ  
ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ

117810 Москва. ГСП-7. Профсоюзная .84/32

Телетайп: 111325 ПАРСЕК

Москва

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пр-1608

В.В.АФОНИН, Н.Ф.СМИРНОВА

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА  
ПО ИЗМЕРЕНИЮ  
ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ

1990

V. V. Afonin N. F. Smirnova

OPTIMIZATION OF COMPLEX EXPERIMENT ON MEASUREMENT  
OF THE COLD PLASMA PARAMETERS

The analysis of the problems arising in defining the cold plasma parameters when fitting method is applied to the data of the retarding potential analyzers (RPA) is given.

It is shown that in many cases the degree of confidence of the results obtained from the RPA data is not sufficient without the a priori complex experiment planning including the experimental data reducing.

The RPA and r.f.-electron temperature probe data from "COSMOS-900" satellite were used to show that both these methods are able to determine spacecraft potential with the accuracy not worse than 0.05 V (in case of the RPA - for stationary and not extreme conditions). The joint use of the both experiment data is enabled to get reliable results even in conditions when it was not possible to do it from the RPA data only using the most powerful methods.

Проведен анализ проблем, возникающих при определении параметров холодной плазмы методом подбора параметров модели к данным плоских анализаторов с тормозящим потенциалом (АТП).

Показано, что во многих случаях степень достоверности получаемых при помощи АТП результатов недостаточна без априорного планирования комплексных экспериментов, включая обработку экспериментальных данных.

На примере данных АТП и в.ч.-зонда электронной температуры, полученных со спутника "Космос-900", показано, что оба этих метода могут определять потенциал корпуса спутника с точностью не хуже, чем 0.05 В (для АТП в стационарных и не экстремальных условиях). Совместное использование данных обоих экспериментов позволяет получить надежные результаты в условиях, когда по данным АТП получить надежные результаты было невозможно даже при использовании самых мощных вычислительных методов.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Методика оценки параметров холодной плазмы при помощи анализаторов с тормозящим потенциалом.....	5
3. Планирование экспериментов по исследованию холодной плазмы.....	9
3.1 Общие соображения.....	9
3.2 Анализ модели плоского приближения.....	10
3.3 Пример применения методики планирования.....	12
Литература.....	16
Рисунки.....	18

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в исследовании ионосферной плазмы прошла пора "географических открытий", и современные эксперименты должны ориентироваться на обнаружение "тонких" эффектов. Для этого надо не только проводить измерения с большой точностью, но также априори планировать эксперименты и последующую обработку.

Необходимость априорного планирования обработки осознана, судя по литературе, в достаточной степени, однако, далеко не всегда такое априорное планирование, особенно в случае комплексных экспериментов, доводится до конкретного плана действий и алгоритмов. Планировать эксперименты и последующую обработку следует с учетом следующих соображений:

- необходимо достаточно надежно определять параметры по результатам измерений на пределе чувствительности прибора;
- необходимо гарантировать результаты в тех случаях, когда модель плохо описывает полученные данные;
- необходимо работать с большим количеством информации.

Эти требования противоречивы. Для надежного определения

параметров требуются совершенные численные методы, т.е. методы, позволяющие гарантированно получать приемлемые по точности оценки искомых параметров. Такие методы существуют далеко не во всех случаях или же на их реализацию затрачивается, как правило, много машинного времени. Для анализа большого количества информации необходимы быстрые алгоритмы.

В данной работе рассматривается вопрос планирования комплексного эксперимента по измерению параметров холодной плазмы с учетом сформулированных требований приборами типа анализаторов с тормозящим потенциалом (АТП), т.е. ионных ловушек. На примере данных, полученных на спутнике "Космос-900", показывается, что совместное использование результатов измерений разными датчиками позволяет резко улучшить качество получаемых результатов, даже несмотря на то, что в этих экспериментах не было проведено планирование в вышеуказанном смысле.

## 2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ПОМОЩИ АНАЛИЗАТОРОВ С ТОРМОЗЯЩИМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Для оценивания параметров холодной плазмы при помощи АТП (нормальной компоненты скорости ионов, температуры, концентраций ионов и потенциала корпуса) применяется метод подбора параметров (*fitting* - метод), при котором искомые параметры минимизируют сумму квадратов отклонений измеренных значений тока от теоретических (метод наименьших квадратов), определяемых моделью. Метод наименьших квадратов является частным случаем более общих оценок, когда минимизируются отклонения от модели в любой другой положительной степени, но на практике они используются

редко, так как вычислительные алгоритмы для получения таких оценок значительно сложнее. О применении таких оценок к подбору параметров холодной плазмы смотри [13].

Для определения параметров холодной плазмы при помощи АТП рассмотрим выражение ( модель ), которое часто называют "плоским приближением" [7,9,12,14] :

$$I(U) = \alpha e S V \cos \theta \sum_{j=1}^M N_j \left( \frac{1}{2} + \operatorname{erf} \left( \frac{x_j}{2 + a_j} \right) + \frac{1}{2} \exp \left( -x_j^2 \right) \right) + c, \quad (1)$$

где  $\alpha$  - коэффициент прозрачности сеток;

$V$  - относительная скорость набегающего потока ионов;

$S$  - площадь входного отверстия;

$\theta$  - угол между нормалью к ловушке и вектором потока ионов;

$N_j$  - концентрация ионов сорта  $j$ ;

$m_j$  - масса  $j$ -той ионной компоненты;

$a_j = (2kT/m_j)^{1/2}$  - тепловая скорость ионов с массой  $m_j$ ;

$k$  - постоянная Больцмана;

$e$  - заряд электрона;

$x_j = \frac{1}{a_j} (V \cos \theta - (2e(U+\phi)/m_j)^{1/2})$  при  $U+\phi \geq 0$  (торможение) и

$x_j = \frac{1}{2} V \cos \theta$  при  $U+\phi < 0$  (притяжение);

$T$  - температура;

$\phi$  - потенциал корпуса спутника;

$U$  - напряжение на анализирующей сетке;

$c$  - фон ( например, от вклада энергичных частиц ).

Пользуясь моделью (1), методом подбора параметров определить  $V$  и  $\theta$  невозможно, так как они сильно коррелируют; можно определить только произведение  $V \cos \theta$ , которое

определяет проекцию потока ионов на нормаль к датчику, которую обозначим  $V_n$ .

$$V_n = V_s \cos \psi + V_d,$$

где  $V_s$  - скорость спутника;

$\psi$  - угол между нормалью к ловушке и вектором скорости спутника;

$V_d$  - нормальная компонента дрейфа ионов.

В модель "плоского приближения" параметры  $T$ ,  $\varphi$ ,  $V_n$  входят нелинейно, а следовательно, для решения этой задачи необходимо использовать методы нелинейного регрессионного анализа, которые не отличаются той простотой и степенью разработанности, как методы линейного регрессионного анализа. В случае линейной регрессии оцениваемые параметры находятся решением систем линейных уравнений, а в случае нелинейной регрессии определение минимума остаточной суммы квадратов сводится подчас к достаточно сложной задаче оптимизации.

Основные трудности следующие:

- параметры могут определяться неоднозначно (неидентифицируемость параметров );
- остаточная сумма квадратов является многоэкстремальной, и ни один метод оптимизации не может отличить локальный минимум от глобального );
- выбор эффективных методов оптимизации определяется не только видом функциональной зависимости, описывающей модель, но также и экспериментальными данными [1], поэтому процесс оптимизации не является делом чисто техническим, который легко автоматизировать для работы с большим объемом информации;
- нелинейные модели обладают "эффектом размерности",



т.е. численные алгоритмы определяются также размерностью модели [4].

Самые точные численные методы требуют вычисления матрицы вторых производных. Если модель плохо согласуется с анализируемыми данными или количество определяемых параметров больше или равно пяти (этот вывод, разумеется, эмпирический [4]), то рекомендуется использовать точные методы, так как даже квазиньютоновские алгоритмы (матрица вторых производных аппроксимируется, исходя из информации об изменении градиента от итерации к итерации) не являются в этих случаях эффективными.

Естественно, каждый экспериментатор стремится определить как можно больше параметров по полученным данным, но тем не менее следует планировать эксперименты так, чтобы исключить необходимость решения задачи нелинейной оптимизации для большого числа переменных, которая требует применения дорогостоящих численных методов и не может быть успешно решена для измерений в возмущенных условиях, где возможны наиболее интересные результаты. Оптимизировать большое число параметров можно успешно только в тех случаях, когда модель хорошо согласуется с данными, и измерения проводятся в спокойных (стационарных) условиях. Как правило, на практике оба эти условия выполняются редко.

Часто модели для определения параметров в физических экспериментах являются линейно-нелинейными функциями, и тогда можно минимизировать остаточную сумму квадратов, используя разложение на линейную и нелинейную части [1,6,11], что уменьшает число параметров, для определения которых требуется применение нелинейных методов, однако не надо надеяться, что такой подход обязательно приведет к

улучшенным результатам. Как показано в [1], поиск экстремума упрощается в зависимости от применяемых методов оптимизации и свойств экспериментальных данных.

Вычислительные вопросы нелинейной регрессии изложены наиболее кратко и современно в [3], а причина неидентифицируемости нелинейных моделей обсуждается в [5].

### 3. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ

#### 3.1 Общие соображения

При проведении комплексных экспериментов, как правило, имеется возможность оценить некоторые параметры одновременно посредством измерений разными датчиками. Это дает возможность резко повысить качество получаемых данных, если заранее провести соответствующее планирование, т.е. выбрать методику обработки и согласовать режимы работы разных датчиков. В данной работе показано, что потенциал корпуса спутника можно определить датчиком электронной температуры с такой же точностью, как при подборе параметров методом наименьших квадратов к модели "плоского приближения" по измерениям анализаторами с тормозящим потенциалом. Этот результат будет использован при обработке экспериментальной информации, полученной прибором КМ-Б, состоящим из трех датчиков электронной температуры, двух плоских ионных ловушек и ионной ловушки-дрейфметра (проект "Активный"), а также при разработке прибора Марипроб (проект "Марс-94").

Чтобы пояснить, какие преимущества дает возможность определения потенциала посредством датчика электронной температуры для оценивания параметров ионной компоненты плазмы, рассмотрим подробнее "плоское приближение" как

модель нелинейной регрессии.

### 3.2 Анализ модели "плоского приближения"

С физической точки зрения эту модель можно считать хорошей, так как она согласуется с данными для плазмы с малым дебаевским радиусом, но при определении параметров методом наименьших квадратов по этой модели возникают все перечисленные выше проблемы.

Следует подчеркнуть, что в данном случае будут обсуждаться вычислительные проблемы. Систематические ошибки, возникающие при оценивании ионной температуры по результатам измерений анализаторов с тормозящим потенциалом, описываются в [10]. Из самых общих соображений с вычислительной точки зрения эта модель трудна, так как модели, представляющие собой комбинации быстро убывающих функций (в данном случае  $\exp f \cdot \exp$ ), могут приводить к большой потере точности при оценивании (см. [2]).

Покажем, что модель (1) является неидентифицируемой для определения нормальной компоненты скорости ионов, температуры, потенциала корпуса, концентраций ионов даже при отсутствии случайных ошибок, если сорта присутствующих в плазме ионов не известны априори. Так, например, плазма с параметрами  $V=2500$  м/с;  $\theta=0$ ;  $\varphi=-0,5$  В;  $T=1000$  К;  $N_{16}=0,800 \cdot 10^{10}$  м<sup>-3</sup> и  $N_4=0,600 \cdot 10^{10}$  м<sup>-3</sup> (для масс ионов 16 и 4 соответственно) имеет такую же модельную вольт-амперную характеристику, как плазма с параметрами  $V=5000$  м/с;  $\theta=0$ ;  $\varphi=-0,5$  В;  $T=1000$  К;  $N_4=0,400 \cdot 10^{10}$  м<sup>-3</sup> и  $N_1=0,300 \cdot 10^{10}$  м<sup>-3</sup> (для масс ионов 4 и 1 соответственно) [13]. Подобные примеры инвариантности модели относительно изменений  $V$  и  $N_i$  нетрудно придумать, если обратить внимание на тот факт, что  $x_j$  в

модели (1) зависит только от отношения масс ионов при данной температуре и потенциале, так как

$$\varphi = (m_i/m_j)(U_j - U_i) / (1 - m_i/m_j), \quad V = (2e(U_j - U_i) / (m_j - m_i))^{1/2}. \quad (2)$$

где  $U_j$  и  $U_i$  - середины участков торможения ионов сорта  $j$  и  $i$  соответственно и определяются, как

$$U_j = m_j V^2 / 2e - \varphi; \quad U_i = m_i V^2 / 2e - \varphi. \quad (3)$$

Решая эти уравнения относительно  $\varphi$  и  $V$ , получаем формулы (2). Если заменить  $\varphi$  и  $V$  в выражении для  $x_j$  из модели (1) на правые части формул (2), то получим:

$$x_j = \frac{e}{kT} (\cos \theta (U_j - U_i) / (1 - m_i/m_j) - U - (m_i/m_j)(U_j - U_i) / (1 - m_i/m_j)).$$

Следовательно, если задать  $T, \varphi$ , отношение масс  $m_i/m_j$ , то, варьируя  $V$ , можно подобрать  $U_j, U_i$  с учетом формул (3) так, чтобы они имели одни и те же значения для сравниваемых характеристик, а также при задании  $V$  следует обеспечить совпадение тока насыщения

$$J_o = aeSV \cos \theta \sum_{j=1}^m N_j, \quad \text{что можно сделать, варьируя } N_j$$

В данном примере  $m_i/m_j = 1/4$ , варьируя скорость и концентрации, подбираем  $J_o, U_j, U_i$  так, чтобы сравниваемые вольт-амперные характеристики совпали.

В настоящее время к исследованию идентифицируемости нелинейных моделей привлекается большое внимание, так как прежде чем искать оценки параметров модели, следует выяснить, определяются они однозначно, а если нет, то какие параметры определяются однозначно. В работе [5] дается теоретико-групповой анализ проблемы идентифицируемости и показывается, что неидентифицируемость параметров нелинейной модели обусловлена инвариантностью модели к какому-либо

преобразованию параметров. Этот вывод подтверждается относительно рассматриваемой модели. Уравнения (2,3) с выражением для  $J_0$  позволяют определить преобразование, при котором модельное значение тока  $J$  не меняется, если остаются постоянными  $T$ ,  $\varphi$ ,  $m/m_j$ , но меняются  $V$ ,  $N_1$  и сорта присутствующих в плазме ионов.

Если сорта присутствующих ионов известны, то "плоское приближение" обеспечивает однозначное определение параметров, но остаточная сумма квадратов является многоэкстремальной функцией, и самый глубокий минимум дает правильное решение (см. [13]). Отличить глобальный минимум от локального трудно в тех случаях, когда нормальная компонента скорости мала по сравнению с тепловыми скоростями ионов, или в плазме присутствуют ионы с близкими массами.

Если в плазме присутствуют ионы только с одной массой, то определить параллельную компоненту скорости ионов практически крайне трудно, так как потенциал и скорость сильно коррелируют, и, следовательно мы имеем дело с плохо обусловленной задачей. Это хорошо иллюстрирует Рис.1, на котором маркерами отмечены значения вольт-амперной характеристики с параметрами  $V=6900$  м/с;  $\vartheta=0$ ;  $\varphi=-1$  В;  $T=1500$  К;  $N_{1e}=0,300 \cdot 10^9$  м<sup>-3</sup>, а сплошной линией показана вольт-амперная характеристика с параметрами  $V=7720$  м/с;  $\vartheta=0$ ;  $\varphi=0$  В;  $T=1198$  К;  $N_{1e}=0,268 \cdot 10^9$  м<sup>-3</sup>. Эти две кривые практически совпадают, и из этого примера понятно, что не зная априори  $\varphi$  или  $V$  при наличии ошибок в экспериментальной информации подобрать правильно параметр нельзя.

### 3.3 Пример применения методики планирования

Как следует из предыдущего результата вследствие

коррелированности  $\rho$  и  $V$  в условиях многоэкстремальности остаточной суммы квадратов при обработке результатов отсутствует гарантия того, что мы не попали в ложный минимум при оценивании параметров.

Поскольку проверка и отработка описанной выше методики планирования слишком дорогое удовольствие, была предпринята попытка сделать это на имеющихся данных, полученных на спутнике "Космос-900".

На спутнике "Космос-900" было проведено два независимых эксперимента:

- с плоской ионной ловушкой ПЛ-40А, прибор Д-156М;
- с высокочастотным зондом электронной температуры ДЭТ, прибор КМ-1R.

Оба датчика были установлены рядом на конце штанги длиной приблизительно 2м, обеспечивающей удаление их от элементов конструкции спутника не менее 0,5м. Датчики были ориентированы по вектору скорости КА.

Поскольку планирование в описанном выше смысле этих экспериментов отсутствовало, была сделана попытка провести следующие исследования:

1. Проверка точности определения потенциала корпуса обоими методами.
2. Проверка методики использования  $\rho$  (ДЭТ) при обработке fitting-методом данных ловушки ПЛ-40А в стационарных условиях (с точки зрения изменения параметров).
3. Применение этой методики к условиям, когда fitting-метод не позволяет надежно оценить параметры ионосферы только по данным ПЛ-40А.

Для проверки точности определения потенциала обоими методами выбирались участки, на которых по измерениям при

помощи плоской ионной ловушки ионы разных сортов присутствовали в достаточном количестве. Для таких вольт-амперных характеристик можно надежно определить все параметры, в частности потенциал, который затем сопоставлялся со значением, полученным по измерениям датчика электронной температуры. На Рис. 2 показана такая характеристика с подобранными параметрами: ионы  $O^+$  составляют 44%,  $He^+$  - 2%, а  $H^+$  - 33%,  $v=7277$  м/с,  $T=915$  К, а потенциал  $\varphi=-2,030$  В. По измерениям датчика электронной температуры  $\varphi=-2,065$  В. Такие результаты в спокойных стационарных условиях имели место всегда, что позволяет заключить, что оба метода согласуются между собой, и погрешность определения потенциала обоими методами меньше, чем 0,05 В.

Затем выбирались спокойные участки, на средних широтах, на которых по литературным данным дрейф не превышал 100 м/с. На этих широтах и высотах полета спутника "Космос-900" плазма большей частью являлась однокомпонентной, поэтому определение  $\varphi$  и  $v$  по данным только ионной ловушки, как указано выше, могло быть неоднозначным. По данным плоских ионных ловушек определяли нормальную компоненту скорости ионов  $v$ , используя значение потенциала корпуса  $\varphi$ , определенное датчиком электронной температуры (ДЭТ). Из Рис. 3 видно, что на спокойном участке проекция дрейфа на вектор скорости спутника во всяком случае меньше 100 м, что вполне согласуется с погрешностью определения при данной точности измерения (см. [8]).

И наконец, данная методика была применена к данным, полученным при пролете спутника "Космос-900" в северной полярной области - от средних широт до полярной шапки.

Применение fitting-метода к этим данным в авроральной зоне было безуспешным - оценки параметров были неустойчивыми, т.е. различие в параметрах, определенных по соседним характеристикам ловушек имели большой разброс и заведомо превышали разумные пределы. Это объясняется

- нестационарностью условий и
- возможным ионосферным дрейфом плазмы.

На Рис.4 показаны результаты обработки этих данных с использованием потенциала корпуса, определенного зондом электронной температуры. В этом случае оценки параметров оказались устойчивыми. Наиболее интересной особенностью является наличие узкой полосы дрейфа со скоростью  $v_d = 2.5$  км/с, причем в этой области дрейфа  $T_i > T_e$  и достигает величины  $T_i \cong 11000$  К.

Эти данные были получены из характеристик ионной ловушки, которые не удавалось обработать, несмотря на применение самых мощных вычислительных методов.



## ЛИТЕРАТУРА.

1. Barham R.H., Drane W. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters when some of parameters are linear. - *Technometrics*, 1972, vol.14, N 3, p.757-766.
2. Chambers J.M. Fitting nonlinear models: numerical techniques. - *Biometrika*, 1973, vol.60, N 1, p. 1-13.
3. Демиденко Е.З. Вычислительные вопросы нелинейной регрессии. *Завод. лаб.*, 1986, N 3, с.51-54.
4. Демиденко Е.З. Нелинейная регрессия. Часть 1. Алгоритмы. - *Препринт, ИМЭМО АН СССР, М.*, 1984, с.70-71.
5. Горский В.Г. Симметрия по параметрам - причина априорной неидентифицируемости нелинейных моделей. - *Завод. лаб.*, 1987, N 5, с. 50-57.
6. Гурий Л.С., Солодун Л.А. Об аппроксимации некоторого класса функций методом наименьших квадратов. - *Завод. лаб.*, 1969, N 5, с.597-599.
7. Грингауз К.И., Безруких В.В., Озеров В.Д. Результаты измерений концентрации положительных ионов в ионосфере методом ионных ловушек на третьем советском спутнике Земли. - В. кн.: *Искусственные спутники Земли. М., Изд-во. АН СССР, 1961, вып. 6, с. 63-100.*
8. Hanson W.B., Heelis R.A. Techniques for measuring bulk gas-motion from satellites. - *Space Sci. Instrum.*, 1975, vol.1, N4, p.493-524.
9. Knudsen W.C. Evaluation and demonstration of the use of retarding potential analyzers for measuring several Ionospheric quantities. - *J. Geophys. Res.*, 1966, vol.71, N 19, p.4669-4678.
10. Knudsen W.C. Systematic ion temperatures error from spatial potential variation in the retarding plane of retarding potential analysers. - *California, Lockheed Palo Alto*

Research Laboratory, 1970.

11. Lawton W.H., Sylvestre E.A. Elimination of linear parameters on nonlinear regression. - *Technometrics*, 1971, vol. 13, N 3, p. 461-467.
13. Смирнова Н. Ф. Анализ численных алгоритмов определения параметров холодной плазмы по измерениям при помощи плоских ионных ловушек. - В кн.: *Задачи и методы обработки космической информации*. М., Наука, 1987, с. 126-138.
14. Whipple E.C. The ion-trap results in exploration of the upper atmosphere with the help of the third soviet sputnik. - In.: *Proc. IRE*, 1959, vol. 47, N 11, p. 2023-2024.

## ПЛОСКАЯ ИОННАЯ ЛОВУШКА

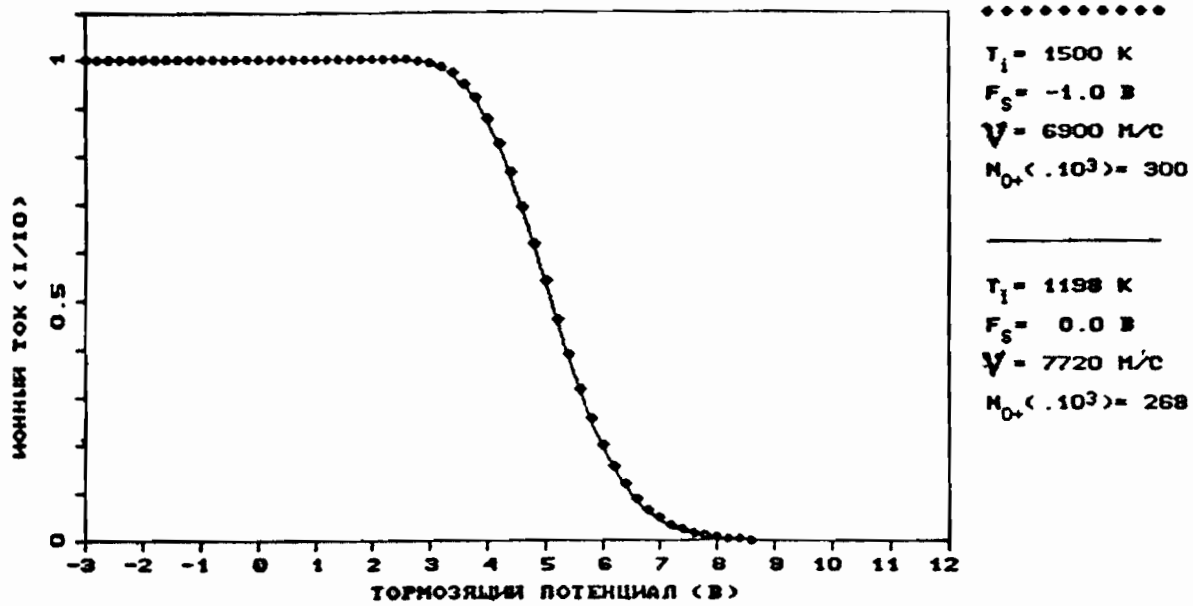
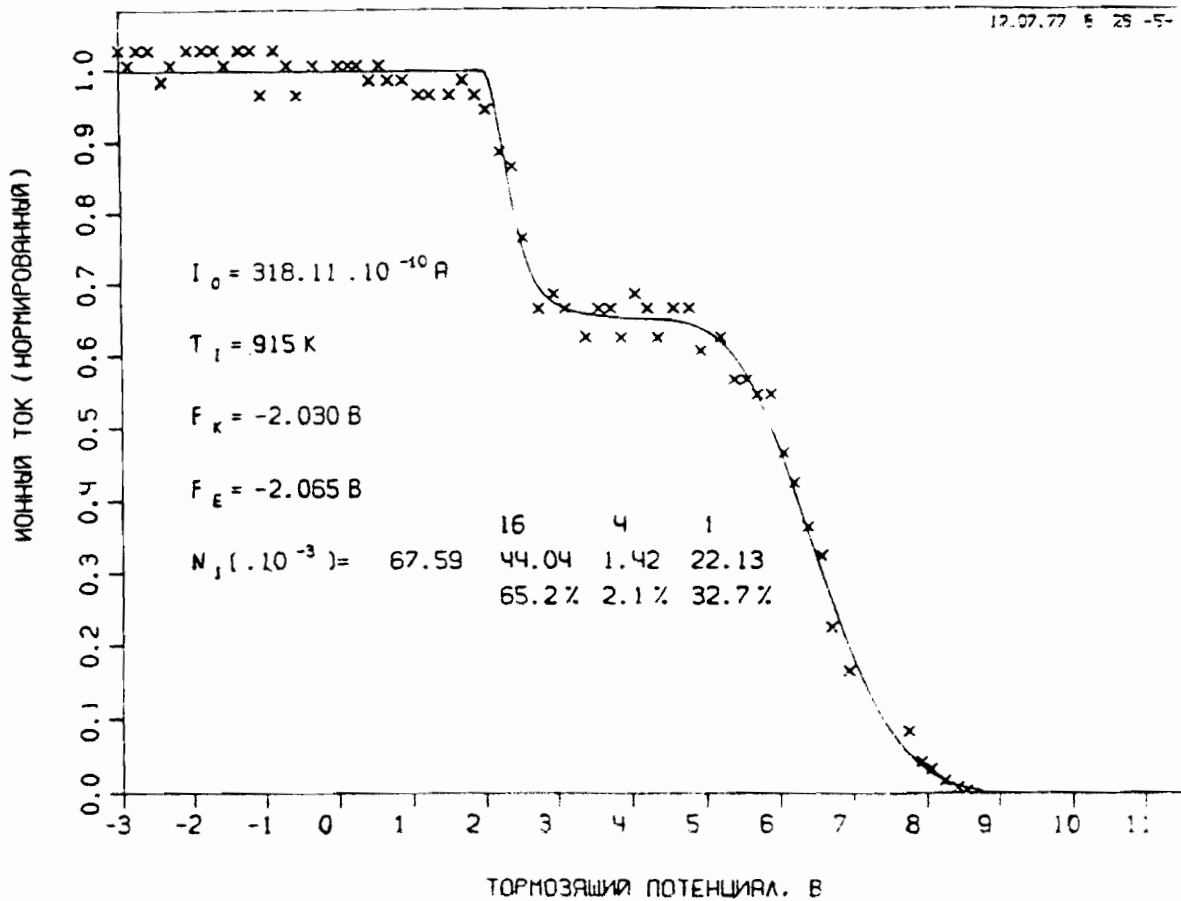


Рис. 1. Теоретические вольт-амперные характеристики анализатора с тормозящим потенциалом для двух наборов параметров плазмы, которые практически совпадают, несмотря на то, что потенциалы корпуса различаются на 1 В.



ВИТОК- 1591      H= 520 KM      LAT= 12.9      LONG= 258.5  
 L= 1.29      INLAT= 24.3      MLT= 23.1      V= 7277 M/C

Рис.2. Экспериментальная вольт-амперная характеристика анализатора с тормозящим потенциалом ПЛ-40А, полученная на спутнике "Космос-900".  $F_k$  - потенциал корпуса спутника относительно плазмы, определенный fitting-методом по данным ПЛ-40А.  $F_e$  - потенциал корпуса спутника относительно плазмы, определенный при помощи зонда электронной температуры ДЭТ.

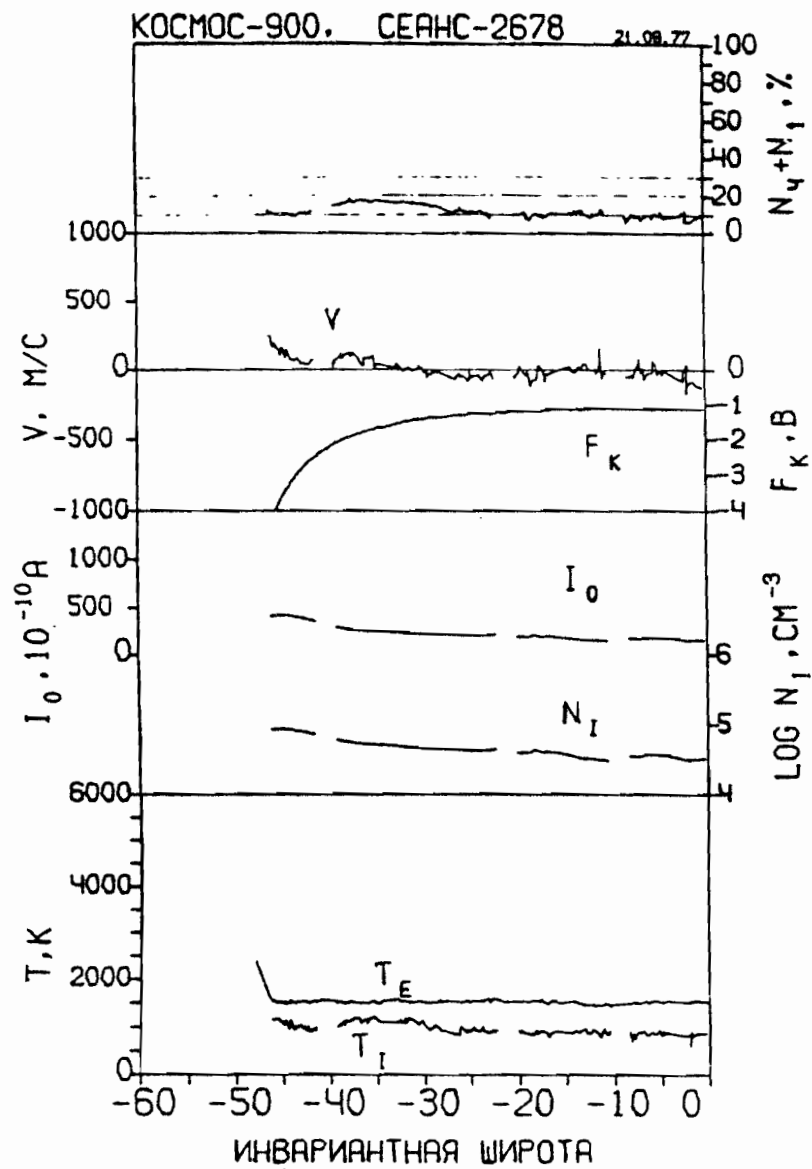


Рис.3. Результаты обработки анализаторов с тормозящим потенциалом ПЛ-40А со спутника "Космос-900", полученные на средних широтах в спокойных геофизических условиях. Определенная величина дрейфа  $|V_d| \leq 100 \text{ м/с}$ .

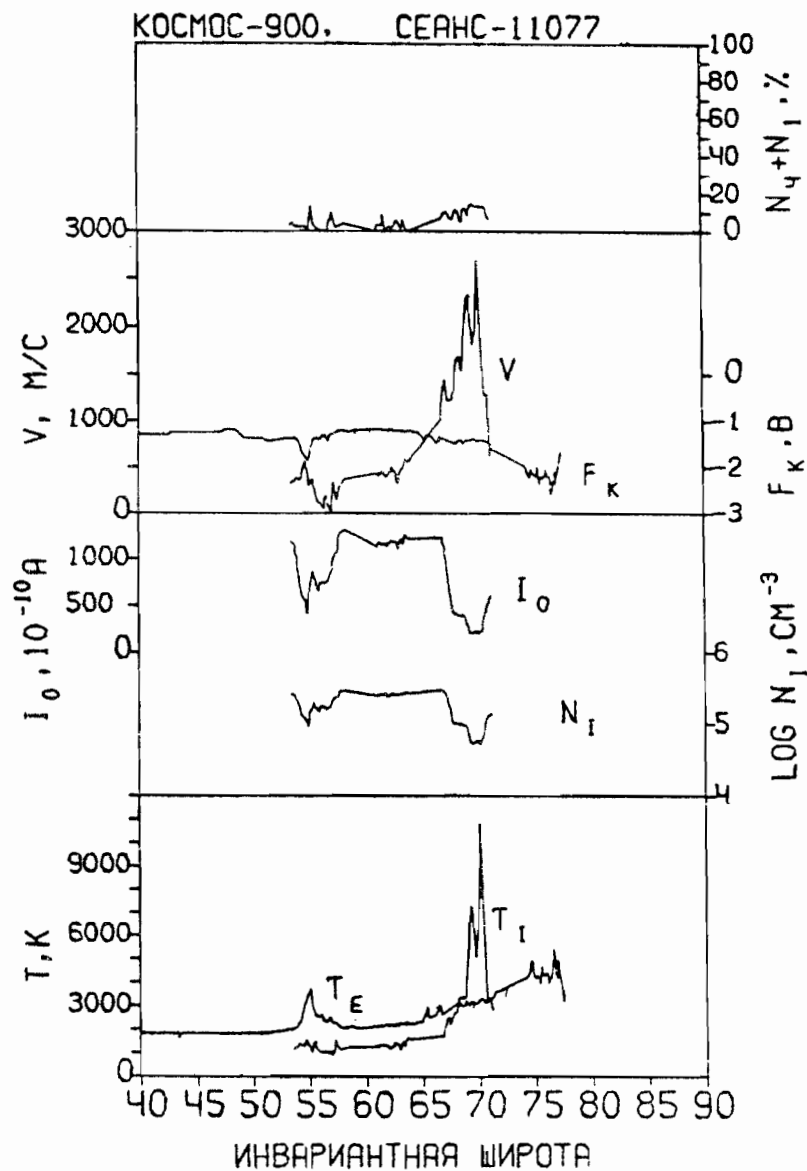


Рис.4. Результаты обработки анализаторов с тормозящим потенциалом ПЛ-40А со спутника "Космос-900", полученные в авроральной области с использованием описанной методики. Без применения этой методики данные результаты получить было невозможно.

055/02/2

Ротапринт ИКИ АН СССР  
Москва, Профсоюзная 84/32

Т-13374

Подписано к печати 5.09.89

Заказ 7286

Формат 61x86/8

Тираж 100 1 уч.изд.л.