

5-217

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

на правах рукописи

БАЛЫКИНА ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

Специальность: 01.01.07 - вычислительная математика

АВТОРЕЗЮМЕ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ДУБНА 1980

Работа выполнена на факультете вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова / г. Москва /

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
профессор Владимир Иванович Дмитриев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник Игорь Викторович Пузынин
доктор технических наук,
старший научный сотрудник Игорь Андреевич Безрук

Ведущая организация:

Институт земного магнетизма и распространения радиоволн
АН СССР / Красная Пахра Московской области /

Автореферат разослан "21" апреля 1980 г.

Защита диссертации состоится "21" мая 1980 г.
в "11" часов на заседании Специализированного совета
Д-047.01.04 Лаборатории вычислительной техники и автоматизации (ИЯИ, г. Дубна Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Иванченко

З.М. Иванченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертация посвящена разработке методов решения обратных некорректно поставленных задач, возникающих при магнитотеллурических зондированиях слоистой Земли. Разработанные методы могут быть применены при решении задач интерпретации данных других видов электромагнитных зондирований различных слоистых сред с учетом специфики условий зондирования и модели среды.

Актуальность. В настоящее время в связи с бурным развитием вычислительной техники и созданием на её основе автоматизированных систем обработки экспериментальной информации актуальной является проблема разработки методов решения обратных задач математической физики. Это связано с широкой автоматизацией задач идентификации различных объектов, когда структура и свойства изучаемого объекта не поддаются непосредственному определению. Поэтому используются методы косвенных измерений. При этом заключение об искомой характеристике χ объекта делается по её косвенному проявлению R , доступному для экспериментального измерения и связанному с χ известным соотношением:

$$A(\chi) = R,$$
 где A — некоторый оператор, в общем случае нелинейный. Искомая характеристика χ получается в результате решения задачи обработки наблюдений, т.е. решения обратной задачи.

Обратная задача практически всегда является некорректно поставленной и требует регуляризации при своем решении, т.е. привлечения дополнительной априорной информации об исследуемом объекте. Поэтому разработка методов решения таких задач тесно связана со спецификой самих задач, для выявления которой требуется детальный анализ постановок задач и той дополнительной информации о решении, которая может быть получена на практике.

Широкий класс обратных задач, обладающих определенной спецификой, возникает при исследованиях различных сред электромагнитными методами. Методы электромагнитных зондирований

достаточно развиты. Особенно успешно эти методы применяются в задачах изучения строения Земли и ионосферы, в задачах интерскопии, при исследованиях параметров плазмы в различных установках и т.д. Причем, для всех подобных задач характерным является единообразный подход к разработке методов решения обратных задач, хотя конкретная реализация отличается для различных прикладных задач.

Важное практическое значение имеют результаты, полученные методами электромагнитных зондирований при исследованиях земной толщи. Так методы электромагнитных зондирований успешно применяются при глубинных исследованиях строения Земли, в структурной и рудной геофизике. Эти задачи геофизики являются обратными, т.е. по измерениям характеристик электромагнитного поля на поверхности Земли нужно получить значения характеристик её внутреннего строения. При этом решение обратной задачи сводится к сравнению наблюдаемых данных с теоретическим расчетом для различных моделей строения Земли.

Частным примером метода электромагнитных зондирований Земли является метод магнитотеллурического зондирования /метод МТЗ/, когда на основе изучения спектральной характеристики естественного электромагнитного поля Земли, измеренного на поверхности, делаются выводы о её строении на глубине. Основы теории метода МТЗ были предложены и разработаны А.Н.Тихоновым [1-2]. Дальнейшие исследования проводились учеными как в СССР, так и за рубежом. Результаты интерпретации данных МТЗ имеют важное практическое значение. Поэтому проблема разработки эффективных методов решения задач МТЗ как в глубинном, так и в разведочном вариантах зондирования, является весьма актуальной задачей.

Цель работы состоит в разработке математических методов решения обратных некорректно поставленных задач применительно

1. Тихонов А.Н. О единственности решения задачи электро-разведки.- Доклады АН СССР, 1949, т.65, №6, с.797-800.

2. Тихонов А.Н. К математическому обоснованию электромагнитного зондирования.- Журнал вычислительной математики и математической физики, 1965, т.5, №3, с.545-547.

к задачам МТЗ земной коры и верхней мантии. Рассматривались следующие основные проблемы:

- разработка методики решения обратных задач электромагнитных зондирований при различных дополнительных сведениях о строении среды;
- создание методов решения обратных задач, возникающих при МТЗ слоистой Земли в глубинном и разведочном вариантах зондирования;
- построение метода первичной математической обработки данных МТЗ слоистой Земли с учетом известных теоретических требований на характер кривой зондирования.

Научная новизна работы.

- Разработан подход к решению обратных некорректно поставленных задач электромагнитных зондирований слоистых сред для ряда типичных моделей глубинного строения Земли.
- Построен метод первичной обработки экспериментальной информации МТЗ слоистой Земли с помощью сплайн-функций, учитывающий ограничения на первую и вторую производные кривой зондирования.
- Проведена интерпретация данных глобального магнитовариационного зондирования Земли /МВЗ/, полученных в Институте земного магнетизма и распространения радиоволн АН СССР /ИЗМИР АН/, и построен геоэлектрический разрез с учетом градиентности среды; оценена разрешающая способность параметров модели, описывающей глубинное распределение электрической проводимости слоистой Земли.

- Предложен метод решения обратной некорректно поставленной задачи МТЗ для нахождения распределения электрической проводимости Земли $\sigma(z)$ в два этапа: нахождение суммарной проводимости $S(z)$ из решения корректной задачи и определение распределения $\sigma(z)$ путем дифференцирования функции $S(z)$.

Внедрение результатов. На основе методов, разработанных в диссертации, создан комплекс программ для ЭВМ БЭСМ-6, которые используются в ИЗМИР АН для расчета электрических характеристик исследуемых георазрезов слоистой Земли по экспериментальным данным МТЗ.

Практическая ценность работы. В результате проведенных ис-

следований создан комплекс программ, позволяющих эффективно решать прямые и обратные задачи, возникающие при МТЗ слоистой Земли в глубинном и разведочном вариантах зондирования.

- Проведен расчет теоретической кривой глобального распределения электрической проводимости слоистой Земли по данным широкой сети геомагнитных обсерваторий.

- Получены сплайн-аппроксимации экспериментальных данных МТЗ слоистой Земли в глубинном и разведочном вариантах с учетом теоретических ограничений на наклон и кривизну кривых зондирования.

- Получены кривые распределений суммарной проводимости георазрезов $S(z)$ из решения обратной задачи МТЗ слоистой Земли; на основе сглаженных кривых $S(z)$ и последующего дифференцирования получены распределения электрической проводимости $\sigma(z)$ Земли с глубиной при наличии известной дополнительной априорной информации о распределении $\sigma(z)$.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались автором по мере их получения в течение 1974-77 гг. на семинаре Лаборатории математической физики Научно-исследовательского вычислительного центра Московского университета. Основные результаты работы сообщались и обсуждались в 1977 г. и в 1979 г. на кафедре вычислительной математики факультета вычислительной математики и кибернетики Московского университета и в 1979 г. на семинаре Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований и на семинаре кафедры вычислительной математики и систем управления Тименского университета.

По материалам диссертации опубликовано 4 работы в открытой печати.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и приложения. В ней содержится 170 страниц машинописного текста, 8 таблиц, 69 рисунков. Список литературы включает 62 наименования. Приводится список программ, составленных автором, по которым проводились численные эксперименты.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и дается краткое описание рассматриваемых проблем. Приводится постановка прямых и обратных задач, возникающих при исследованиях слоистых сред электромагнитными методами в случае глубинного и разведочного вариантов зондирования.

Задачи зондирования в глубинном и разведочном вариантах существенно различаются между собой по заданию экспериментальной и дополнительной информации. Именно эти отличия приводят к различным постановкам и методам решения возникающих обратных задач. В зависимости от способа задания априорной информации возможны два подхода к решению обратных задач электромагнитных зондирования слоистых сред.

I. Пусть уровень погрешности δ задания экспериментальных данных известен, и априорная информация о решении $\chi(z)$ представлена в виде ограничения:

$$\Omega[\chi(z)] \leq C,$$

где вид оператора Ω задан, а величина константы C не известна. Тогда решение $\chi(z)$ можно определить из следующей задачи:

$$\min_{\chi \in \Gamma(\delta)} \Omega[\chi(z)],$$

где множество $\Gamma(\delta)$ определяется уровнем погрешности δ :

$$\Gamma(\delta) = \{ \chi(z) \in \Gamma : \|A[\chi(z)] - R^{\text{э}}(\tau)\|_{L_2} \leq \delta, \tau \in \hat{\tau} \},$$

Γ - множество возможных решений, $R^{\text{э}}(\tau)$ - экспериментальная кривая зондирования, τ - параметр метода зондирования. Это есть обычный метод регуляризации, который часто записывают в виде минимизации сглаживающего функционала [3].

К задачам, в решении которых можно осуществить такой подход, относятся задачи разведочной геофизики.

3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Изд-во "Наука", 1979. -285 с.

2. Рассмотрим случай, когда погрешности δ велики, но при этом известна значительная информация о распределении искомым характеристикам $\gamma(z)$. В этом случае можно ставить задачу на условный экстремум:

$$\min_{\gamma \in \Gamma(C)} \|A[\gamma(z)] - R^3(\tau)\|_{L_2}, \quad \tau \in \hat{\tau},$$

где $\Gamma(C)$ — множество решений, определяемых дополнительным условием вида:

$$\Omega[\gamma(z)] \leq C,$$

при этом величина C известна. Часто условия задачи таковы, что определить величину C , ограничивающую известный функционал Ω , очень сложно. Тогда вместо этого ограничения задается множество возможных решений в виде параметрического семейства моделей:

$$\Gamma(P) = \{ \gamma(z) = \gamma(\bar{p}, z), \bar{p} \in P \},$$

где \bar{p} — вектор параметров, P — множество допустимых векторов модели. При этом определение решения $\gamma(\bar{p}, z)$ из параметрического семейства моделей $\Gamma(P)$ сводится к решению следующей задачи:

$$\min_{\bar{p} \in P} \|A[\gamma(\bar{p}, z)] - R^3(\tau)\|_{L_2}.$$

Такой подход осуществлен в диссертации при решении обратных задач глубинного зондирования Земли.

В связи с различными постановками обратных задач электромагнитных зондирований в разведочном и глубинном вариантах для каждой указанной группы задач рассматривались свои вопросы, анализ и решение которых осуществлены в диссертации.

Так для задач разведочного зондирования исследовались следующие вопросы:

— выбор оптимальных представлений функционала невязки для теоретических и экспериментальных данных при МТЗ слоистой Земли;

— возможность решения обратной задачи в два этапа: нахождение некоторой обобщенной характеристики решения с последующей окончательной интерпретацией /получение $\gamma(z)$ /; при этом обе

задачи являются более простыми, чем исходная задача.

Для задач глубинного зондирования наряду с проблемами решения задач разведочного варианта рассматривались и специальные вопросы:

— детальное исследование априорной информации об искомом решении и построение на этой основе семейства математических моделей, отражающих наиболее полно геофизическую характеристику среды;

— разработка методов аппроксимации экспериментальных дискретных данных МТЗ с последующей интерпретацией построенной аппроксимации; разработка этих методов базируется на выполнении требований, накладываемых на характер поведения кривых зондирования.

Формулируются цели диссертационной работы. Приводится краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе диссертации рассматриваются вопросы, связанные с использованием априорной информации о поведении характеристик $\gamma(z)$ исследуемой слоистой среды для построения параметрического семейства $\Gamma(P)$ моделей возможных решений обратной задачи электромагнитных зондирований. В рамках построенного семейства моделей среды описывается алгоритм нахождения решения обратной задачи зондирования. Конкретная реализация алгоритма решения обратных задач на параметрическом множестве модельных решений проведена на примере интерпретации данных глобального МВЗ Земли, полученных сотрудниками ИЗМИР АН. В качестве параметрического семейства решений выбрана математическая модель $\Sigma_m^{(P)}$ глобального распределения электрической проводимости слоистой Земли в виде:

$$\Sigma_m^{(P)} = \left\{ \sigma(\bar{p}, z) = \sigma_0 + \sum_{j=1}^m \sigma_j \exp\left(-\frac{\delta_j}{t(z)}\right) \cdot \frac{1}{2} \left(1 + \tanh \frac{h_j - z}{q_j}\right) \right\},$$

где $\bar{p} = (\sigma_0, \sigma_1, h_1, q_1, \sigma_2, h_2, q_2, \dots, \sigma_m, h_m, q_m)$, $z \in [0, H]$, m — число меняющихся параметров модели, H — глубина зондирования, $t(z)$ — температура Земли на глубине z , $\delta_j = E_j / K$, E_j — энергия активации вещества при включении j -го механизма проводимости, K — постоянная Больцмана, σ_j , h_j , q_j — соответственно величина, глубина залегания и полуширина размазывания j -го скачка проводимости.

$$\sigma_0 = \begin{cases} \sigma_{01}, & 0 \leq z \leq h_{01} \\ \sigma_{02}, & h_{01} < z \leq h_{02} \end{cases}$$

Здесь σ_{01} и h_{01} — проводимость и мощность осадочного чехла, которые выбирались так, чтобы $S_1 = \sigma_{01} h_{01} \approx (3-4) \cdot 10^3 (\text{см})^{-1}$. При наших расчетах обычно принималось: $\sigma_{01} = 1 (\text{см м})^{-1}$, $h_{01} = 4 \text{ км}$. Величины σ_{02} и $(h_{02} - h_{01})$ соответствуют проводимости и мощности земной коры и части верхней мантии. При этом h_{02} — глубина, на которой начинается существенный рост проводимости, а σ_{02} — есть та проводимость, с которой этот рост начинается. Поэтому обычно при расчетах выбирают: $h_{02} = 4 \cdot 10^5 \text{ м}$, $\sigma_{02} = 10^{-2} (\text{см м})^{-1}$.

В диссертации проведено обоснование этой модели и сравнение её с моделями, предложенными ранее другими авторами. Параметрическая модель $\sum_m^{(p)}$ верно отражает основные особенности глубинного разреза земной толщи и её данные согласуются с известными фактами о строении Земли, полученными другими геофизическими методами.

В результате интерпретации данных глобального МВЗ Земли найдены оптимальные параметры модели $\sigma(\bar{r}, z) \in \sum_m^{(p)}$ для распределения электрической проводимости. Соответствующая оптимальным параметрам теоретическая кривая кажущегося сопротивления $R_k[\sigma(\bar{r}, z), T]$ хорошо ложится в облако точек, соответствующих экспериментальным данным зондирования, полученным с большими разбросами. Для выявления границ точности восстановленного георазреза по наблюдаемым данным, снятым с погрешностями, проведен анализ разрешающей способности метода получения параметров модели $\sigma(\bar{r}, z) \in \sum_m^{(p)}$ и выявлены хорошо разрешенные параметры / h_1 , h_2 / и плохо разрешенные / σ_2 , q_2 /.

При интерпретации данных МТЗ и МВЗ в качестве невязки экспериментальных $R_k^z(T)$ и теоретических $R_k(T)$ данных берется функционал вида:

$$g[\sigma(\bar{r}, z)] = \left| \chi[\sigma(\bar{r}, z), \tau] - \chi^z(\tau) \right|_{h_2},$$

где $\chi = \ln R_k$, $\chi^z = \ln R_k^z$, $\tau = \ln \sqrt{T}$, T — период изменения электромагнитного поля Земли. Переход к значениям логарифмов для

R_k и T осуществлен вследствие специфики задания экспериментальной информации при МТЗ и МВЗ сложистой Земли. Кроме того, такой переход позволяет выбрать решение обратной задачи $\sigma(z)$

таким образом, что вклад в функционал $g[\sigma(\bar{r}, z)]$ на всех сравнимых по величине участках $[\tau_k, \tau_{k+1}]$ приблизительно одинаковый. Для сравнения теоретических кривых с экспериментальными данными зондирования, не обладающих свойствами кривых кажущегося сопротивления, может быть построен функционал другого вида, учитывающий специфику сравниваемых кривых.

Для задач зондирования, решение которых ищется на параметрическом множестве, предложен метод решения обратных задач с расширяющимся семейством параметров модели. Метод применим к решению обратных задач электромагнитных зондирования различных сред и основан на том, что вся совокупность параметров модели можно упорядочить и разбить на отдельные группы, используя при этом свойства электромагнитного поля при прохождении через неоднородную среду волн различной частоты. Метод решения обратных задач с расширяющимся семейством параметров модели позволяет находить решение $\sigma(z)$ таким образом, что приближение соответствующей теоретической кривой $R_k[\sigma(z), T]$ к экспериментальной $R_k^z(T)$ проводится последовательно по характерным частям кривой зондирования [4]. При этом минимизация функционала невязки проводится по меньшему числу параметров модели, отвечающих в основном за ход теоретической кривой на выбранном участке. Решение обратной задачи получается в результате решения

q — задач минимизации / q — число характерных участков кривой зондирования / по $\left(\frac{m}{q} + k\right)$ — параметрам модели / m — общее число параметров модели, k — параметр метода /. Метод позволил значительно сократить объем вычислительной работы и затраты машинного времени на получение решений обратных задач МТЗ сложистой Земли.

Во второй главе описывается метод сглаживания дискретной экспериментальной информации, полученной с погрешностями при МТЗ сложистой Земли, с помощью кубических сплайн-функций дефекта I. При этом сплайн-аппроксимация строится с учетом ограничений на наклон и кривизну теоретических кривых зондирования.

4. Дмитриев В.И. Электромагнитные поля в неоднородных средах. — М.: Изд-во Московского университета, 1969. — 131 с.

Вектор коэффициентов \bar{x} сплайна / $\bar{x} = \{x_k\}_{k=1}^{M+3}$, M -число зон при построении сплайна / определяется из решения следующей задачи:

$$\min_{\bar{x}} \{ \varphi_1(\bar{x}) + \bar{\alpha} \varphi_2(\bar{x}) \},$$

где $\varphi_1(\bar{x}) = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^{L_k} |S_k(\bar{x}, \tau_k) - z^j(\tau_k)|^2$, $\tau_k \leq \tau_j \leq \tau_{k+1}$,
 -характеризует отклонение сплайна $S(\tau) = \bigcup_{k=1}^M S_k(\tau)$ в k -ой зоне от экспериментальных точек $z^j(\tau_j)$, L_k - число точек в k -ой зоне;

$$\varphi_2(\bar{x}) = \sum_{k=1}^M \int_{\tau_k}^{\tau_{k+1}} \left| \frac{\partial S_k(\bar{x}, \tau)}{\partial \tau} \right|^2 d\tau$$

-определяет гладкость сплайна $S(\tau)$ в k -ой зоне. Здесь $\bar{\alpha}$ -параметр регуляризации, выбор оптимального значения которого можно осуществить следующим образом: будем уменьшать значение $\bar{\alpha}$, начиная с некоторого $\bar{\alpha}^{(0)}$, до тех пор, пока не будет нарушено одно из условий:

$$\left| \frac{\partial^n S(\bar{\alpha}, \tau)}{\partial \tau^n} \right| \leq 2^n, \quad n=1,2,$$

вытекающих из естественных ограничений на характер теоретических кривых зондирования при МТЗ.

Для наилучшего приближения сплайна к экспериментальным точкам предложено выбрать свое оптимальное значение параметра $\bar{\alpha}$ в каждой зоне, т.е. $\bar{\alpha}$ есть вектор с M -компонентами.

Доказаны существование и единственность аппроксимации дискретных данных кажущегося сопротивления МТЗ сложной Земли с помощью кубических сплайн-функций дефекта I, построенных с учетом геофизической информации о характере кривых зондирования.

Приведены условия выбора границ зон деления экспериментальных точек на группы при построении кубической сплайн-аппроксимации. Эти условия вытекают из требования непрерывности сплайн-кривой и её двух производных на всех внутренних границах раздела соседних зон.

Для случая, когда экспериментальная информация задана с некоторыми разбросами /например, это имеет место при глубинном МВЗ Земли/, приводится метод выбора характеристических точек, по которым затем строится сплайн-аппроксимация. Метод позволя-

ет в зависимости от целей задачи / при задании целевой функции / из всего множества наблюдаемых данных выбрать некоторые характерные точки.

В третьей главе описывается метод решения обратных некорректных задач интерпретации электромагнитных данных в случае, когда искомое решение можно трансформировать в такую функцию, для которой обратная задача является корректно поставленной на соответствующих множествах. Эта функция является некоторой обобщенной характеристикой искомого решения и сама служит удобной формой представления результата, по которому можно в случае надобности определить решение исходной задачи.

Подход к решению некорректных задач с предварительным определением обобщенной характеристики решения в диссертации применен к решению обратных задач разведочного варианта МТЗ сложной Земли. При этом в качестве обобщенной характеристики искомого распределения электрической проводимости $\sigma(z)$ предлагается рассматривать суммарную проводимость $S(z)$, определяемому соотношением:

$$S(z) = \begin{cases} \int_0^z \sigma(\xi) d\xi, & z \in [0, H], \\ S_H + \sigma_H(z-H), & z \geq H, \end{cases}$$

где $S_H = \int_0^H \sigma(z) dz$, σ_H - электрическая проводимость однородного полупространства $z \geq H$, H - глубина зондирования.

Рассматриваются свойства функции $S(z)$.

Исходя из уравнений Максвелла для сложной среды в отсутствие источников, получены уравнения для решения прямых задач, позволяющие получать частотное распределение адмиттанса Земли на поверхности $z=0$, если известно распределение суммарной проводимости. Уравнения имеют вид:

$$u(z, \omega) = u(H, \omega) + \lambda \int_H^z [S(\xi) - S(\xi)] u(\xi, \omega) d\xi,$$

$$v(z, \omega) = v(H, \omega) + \lambda \int_H^z v^2(\xi, \omega) d\xi - S(z) + S_H,$$

где $u(H, \omega)$ и $v(H, \omega)$ - заданные величины на нижней границе рассматриваемой области, $\omega = 2\pi f$, μ - магнитная проницаемость среды, $\lambda = -i\omega\mu$, i - мнимая единица. Здесь введены обозначения:

$$u(z, \omega) = \frac{H_y(z, \omega)}{E_x(z, \omega)}, \quad v(z, \omega) = \frac{H_x(z, \omega)}{E_x(z, \omega)},$$

где $H_y(z, \omega)$, $E_x(z, \omega)$ – горизонтальные составляющие магнитного и электрического поля слоистой Земли.

Показана корректность постановки обратной задачи электромагнитных зондирований для определения суммарной проводимости на множестве монотонных функций $\{S(z)\}$. Получены некоторые оценки точности определения $S(z)$ в зависимости от погрешности входных данных задачи зондирования.

Определение окончательного решения $\theta(z)$ исходной задачи по обобщенной характеристике $S(z)$ получается путем обратного перехода:

$$\theta(z) = \frac{dS(z)}{dz}, \quad z \in [0, H],$$

т.е. путем решения некорректной задачи численного дифференцирования. Для ее решения предложено аппроксимировать точки $S(z_j)$, $j=1, N$, полученные в результате численного решения обратной задачи в терминах $S(z)$, кусочно-линейной функцией $\tilde{S}(n, z)$ при заданном числе n участков линейности аппроксимации:

$$\tilde{S}(n, z) = \bigcup_{j=1}^n \{a_j(z-z_j) + b_j\}, \quad z_j \leq z < z_{j+1}.$$

При этом число n участков линейности функции $\tilde{S}(n, z)$ соответствует гипотетическому числу слоев постоянства электрической проводимости Земли и является параметром регуляризации при определении коэффициентов аппроксимации a_j , b_j и точек z_j соединения ее отдельных кусков, $j=1, n$:

$$\min_{a_j, b_j, z_j} \left\{ \|S(z) - \tilde{S}(n, z)\|_{L_2} + \alpha \left\| \frac{d\tilde{S}(z)}{dz} \right\|_{L_2} \right\},$$

где $\alpha = \alpha(n)$ – параметр регуляризации. Определение распределения $\theta(z)$ из кусочно-линейной функции $\tilde{S}(n, z)$ проводится обычным дифференцированием. При этом длина участка линейности $(z_{j+1} - z_j)$ соответствует мощности j -го слоя георазреза с постоянным значением электрической проводимости $\theta_j = a_j$, $j=1, n$.

Для случая, когда распределение $\theta(z)$ ищется на множестве непрерывных гладких функций, описан метод аппроксимации значе-

ний $S(z_j)$, $j=1, N$, с помощью кубических сплайнов дефекта I. При этом после дифференцирования аппроксимации $S(z)$ распределение $\theta(z)$ получается в виде кривой второго порядка.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертации.

В приложении собраны таблицы и рисунки, ссылки на которые делаются в тексте диссертации, являющиеся наглядным представлением результатов проведенных численных экспериментов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Основными результатами диссертации явились разработка методов решения обратных некорректно поставленных задач МТЗ слоистой Земли и реализация алгоритмов разработанных методов в виде комплекса программ, написанных на языке АЛГОЛ для ЭМ БЭСМ-6.

Основные результаты диссертации сводятся к следующим.

1. Проведена интерпретация экспериментальных данных глобального МВЗ в рамках параметрического семейства моделей для глобального распределения электрической проводимости слоистой Земли и исследована разрешающая способность метода зондирования относительно параметров модели этого семейства.

2. Выбраны оптимальные представления функций для данных электромагнитных зондирований Земли, с помощью которых удается находить решения обратных задач таким образом, что соответствующая решению задачи такая функция дает приблизительно одинаковые относительные погрешности на всем участке информативности экспериментальной кривой. На этой основе предложены невязки, наиболее удобные для данного задания сравниваемых функций.

3. Для первичной обработки данных электромагнитных зондирований Земли развит метод сглаживания дискретной экспериментальной информации с помощью аппроксимирующих сплайн-функций, удовлетворяющих некоторым ограничениям на первые и вторые производные аппроксимирующей функции. Эти ограничения вытекают из естественных условий, наложенных на ход кривых МТЗ.

4. Предложено при решении обратных задач электромагнитных зондирований определять некоторую обобщенную характеристику ис-

когого решения /суммарная проводимость в случае зондирования Земли/, для которой обратная задача является корректно поставленной. Эта обобщенная характеристика позволяет идентифицировать искомый объект, а в случае надобности по ней можно вычислить искомое решение исходной задачи /распределение электрической проводимости в случае зондирования Земли/ после предварительного сглаживания обобщенной характеристики решения. Сглаживание проводится на основе известной априорной информации об искомом решении.

5. Создан комплекс программ, позволяющих по дискретной экспериментальной информации МТЗ получать устойчивые к погрешностям входных данных распределения электрической или суммарной проводимости в рамках различных математических моделей сложной Земли.

ПУБЛИКАЦИИ

Основные результаты, полученные в диссертации, опубликованы в следующих статьях:

1. Дмитриев В.И., Ротанова Н.М., Захарова О.К., Балыкина О.Н. Геоэлектрическая и геотермическая интерпретация результатов глубинного магнитовариационного зондирования. - Геомагнетизм и аэронавигация, 1977, т.17, №2, с.315-321.

2. Дмитриев В.И., Ротанова Н.М., Балыкина О.Н., Захарова О.К. О разрешающей способности кривых глубинного магнитовариационного зондирования. - Геомагнетизм и аэронавигация, 1977, т.17, №6, с.1092-1097.

3. Дмитриев В.И., Ротанова Н.М., Балыкина О.Н. О геоэлектрической интерпретации результатов глобального магнитовариационного зондирования. - Геомагнетизм и аэронавигация, 1978, т.18, №4, с.355-358.

4. Дмитриев В.И., Балыкина О.Н. О применении сплайн-функций при решении обратной задачи магнитотеллурического зондирования. - В сб.: Численные методы в геофизике. - М.: Изд-во Московского университета, 1979, с.105-121.

Подписано к печати 7.2.80 г. Л-85324, Формат 60x84/16,
Объем 1,0 печ.л., Тираж 100 экз., Заказ 29, Бесплатно.

ОНТИ

НИВЦ

МГУ