

*На правах рукописи*

**СОБОЛЕВ Андрей Юрьевич**

**КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ ИМИТАЦИИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ  
ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
КАРОТАЖНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ**

25.00.10 – геофизика, геофизические методы  
поисков полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**НОВОСИБИРСК 2008**



Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук  
Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука  
Сибирского отделения РАН

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент  
Ельцов Игорь Николаевич

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
Филатов Владимир Викторович

кандидат технических наук, доцент  
Антонов Евгений Юрьевич

Ведущая организация:

Учреждение Российской академии наук  
Институт вычислительного моделирования  
Сибирского отделения РАН (г. Красноярск)

Защита состоится 23 октября 2008 г. в 11 часов на заседании  
диссертационного совета Д 003.068.03 при Учреждении Российской  
академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука Сибирского отделения РАН, в конференц-зале.

Адрес: пр-т Ак. Коптюга, 3, Новосибирск-90, 630090  
Факс: (383) 333-25-13

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН

Автореферат разослан 19 сентября 2008 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.г.-м.н.



Н.Н. Неведрова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Объект исследования** — программно-алгоритмическая база метода высокочастотных индукционных каротажных изопараметрических зондирований (ВИКИЗ) на предмет создания компьютерной системы для имитации и интерпретации данных зондирований в скважинах, вскрывающих нефте- и газонасыщенные коллекторы.

**Цель исследования** — автоматизация и повышение достоверности определения параметров геоэлектрического разреза путем разработки программно-алгоритмического комплекса для моделирования, обработки, количественной интерпретации и визуализации данных высокочастотного электромагнитного каротажа.

В соответствии с целью исследования была поставлена следующая **техническая задача**: разработать компьютерную систему для имитации, визуализации и количественной интерпретации данных высокочастотных электромагнитных каротажных зондирований (ВИКИЗ) с использованием **нейросетевого моделирования**.

Поставленная задача решалась **поэтапно**:

1. Проанализировать возможности методов нейросетевого моделирования применительно к задаче имитации данных электромагнитного каротажа, обосновать и выбрать эффективные средства создания нейросетевых аналогов прямых задач ВИКИЗ.
2. Разработать и программно реализовать алгоритм выделения пластов по данным высокочастотного изопараметрического каротажного зондирования, базируясь на решении прямой задачи ВИКИЗ для горизонтально-слоистой среды и физическом анализе поведения разности фаз при пересечении границ.
3. Разработать компьютерную автоматизированную систему обработки, визуализации и количественной интерпретации данных высокочастотных электромагнитных каротажных зондирований в классе горизонтально-слоистых моделей с цилиндрически-слоистым проникновением.
4. Разработать средства взаимодействия с распространенными интерпретационными системами обработки данных ГИС.

**Фактический материал и методы исследования.** Исследования базировались, главным образом, на математическом моделировании, сопровождающемся оценками точности и тестированием программ. В работе использовались апробированные и хорошо зарекомендовавшие себя математические методы информационного анализа, линейной и нелинейной минимизации, вычисления статистических характеристик.

Теоретической основой решения поставленных задач служат теория нейронных сетей и статистическая теория интерпретации.

Для опробования процедур автоматической интерпретации привлечен экспериментальный материал по каротажным зондированиям методом ВИКИЗ, полученный при непосредственном участии автора на месторождениях Среднего Приобья, Средней Азии, Китая и др., содержащих нефте- и газонасыщенные коллекторы.

Наряду с разработанными лично автором и в соавторстве методическими и программно-алгоритмическими средствами в работе использовались программы М. И. Эпова, И. Н. Ельцова, М. Н. Никитенко, В. Н. Глинских, Г. А. Борисова (ИНГГ СО РАН, Новосибирск), В. А. Охонина (ИБФ СО РАН, Красноярск).

Для верификации программного обеспечения проводился сравнительный анализ расчетов синтетических данных по программам, предоставленным названными авторами. Возможности разработанных методов, средств математического моделирования и интерпретации изучены в процессе обработки сотен каротажных диаграмм, полученных на Когалымском, Федоровском и других месторождениях. Алгоритмы и программы прошли проверку и внедрены в 35 организациях России, Китая, Казахстана, Узбекистана и Туркменистана (ОАО «Сургутнефтегаз», ОАО «Татнефтегеофизика», ОАО «Казпромгеофизика», «Туркменнебитгеофизика», «Shengli Oil Field Well Logging Company» и др.). Соискателем выполнен большой объем по внедрению метода ВИКИЗ и системы интерпретации МФС ВИКИЗ в России и за рубежом.

#### **Защищаемые научные результаты**

1. Обоснование возможности и эффективности использования метода нейросетевого моделирования для имитации данных электромагнитного каротажа; алгоритм имитации данных электромагнитного каротажа на основе нейросетевого моделирования и его программная реализация.
2. Алгоритм выделения пластов и снятия существенных значений по данным ВИКИЗ и его программная реализация. Частные решения задач профилирования высокочастотным индукционным зондом слоя и профилирования одной границы, полученные на основе решения для определения компонент электромагнитного поля произвольного магнитного диполя (Табаровский, 1975; Эпов, 1979).

3. Компьютерная система имитации, обработки, визуализации и количественной интерпретации данных высокочастотных электромагнитных каротажных зондирований МФС ВИКИЗ.
4. Решение нестандартных задач определения параметров околоскважинного пространства и построение высокдетальных геоэлектрических разрезов:
  - а) изучение эволюции зоны проникновения фильтрата буровой жидкости по измерениям в скважинах с горизонтальным завершением и определение параметров разреза как функции времени;
  - б) определение параметров техногенных изменений в околоскважинном пространстве для скважины со стеклопластиковой обсадкой.

#### **Научная новизна и личный вклад**

1. Разработана компьютерная система для имитации, визуализации и количественной интерпретации данных высокочастотных электромагнитных каротажных зондирований (ВИКИЗ).
  - Показана возможность и обоснована эффективность использования метода нейросетевого моделирования для имитации данных электромагнитного каротажа.
  - Основываясь на теоретическом решении задачи профилирования высокочастотным индукционным зондом слоя и одной границы, разработан и программно реализован алгоритм выделения пластов по данным ВИКИЗ.
  - Предложена интерпретация LAS-стандарта и реализована интеграция системы МФС ВИКИЗ в наиболее распространенные пакеты обработки данных геофизических исследований в скважинах.

**Теоретическая и практическая значимость.** Созданная компьютерная система автоматизированной интерпретации данных высокочастотного электромагнитного каротажа МФС ВИКИЗ используется в лабораториях научно-исследовательских институтов и в производственных организациях при полевых исследованиях методом ВИКИЗ. Алгоритмическую основу системы составляют нейросетевые методы решения прямых задач и алгоритм выделения пластов.

Результаты исследований реализованы в промышленном программном комплексе МФС ВИКИЗ, который поставляется с аппаратурой ВИКИЗ и АЛМАЗ. Научно-производственным предприятием геофизической аппаратуры «Луч» (Новосибирск) выпущено

более 600 комплектов аппаратуры, которая эксплуатируется в России, Китае, Казахстане, Узбекистане и Туркменистане.

Многофункциональная система обработки и интерпретации МФС ВИКИЗ используется в учебном процессе в Новосибирском государственном университете, Иркутском государственном техническом университете, Томском политехническом университете и Уральской горно-геологической академии.

Внедрение результатов в производственные организации и высшие учебные заведения подтверждено соответствующими актами.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы представлялись на:

— **международных научных форумах:** Международных научных студенческих конференциях «Студент и научно-технический прогресс» (Новосибирск, 1996, 1997, 1998), II Международном геофизическом конгрессе Казахстана (Казахстан, Алматы, 1998), Международной конференции молодых ученых и специалистов «Геофизика-99» (Санкт-Петербург, 1999), 43-м ежегодном заседании Союза профессиональных каротажников SPWLA (Япония, Оисо, 2002), I, IV Международных конференциях «Обратные задачи: Моделирование и имитация» (Турция, Фетхие, 2002, 2008), Международной конференции по математическим методам в геофизике «ММГ-2003» (Новосибирск, 2003), Форуме общества геофизиков-исследователей SEG, посвященном 70-летию академика Гольдина С. В. (Бердск, 2006), Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь-2008» (Новосибирск, 2008) и других;

— **всероссийских семинарах и конференциях:** Всероссийской научно-практической конференции «Состояние и пути развития высокочастотного электромагнитного каротажа» (Новосибирск, 1998), Всероссийской научно-практической конференции «Пути развития и повышения эффективности технологий электрических и электромагнитных методов изучения нефтегазовых скважинах» (Новосибирск, 1999), Всероссийской конференции «Теория и практика электромагнитных методов исследований земной коры и околоскважинного пространства» (Новосибирск, 2000), Научном симпозиуме «Новые технологии в геофизике» (Уфа, 2001), Всероссийской конференции «Геофизические исследования в нефтегазовых скважинах» (Новосибирск, 2002) и других;

— **региональных конференциях**, а также семинарах Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука.

**Материалы диссертации** полностью изложены в 24 публикациях, из них 7 статей в российских и зарубежных научных журналах, в том числе в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией — 6 («Каротажник», 1999, №№54, 57; 2000, №74; 2006, №9; 2008, №2; «Геология и геофизика», 2004, Т. 45, № 8), 7 публикаций в трудах и материалах научных конференций.

Исследования проводились в соответствии с планами НИР Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН по программам фундаментальных исследований СО РАН: на 1998–2000 г. (номер гос. регистрации 01980003021), на 2001–2003 г. (номер гос. регистрации 01200101571), на 2004–2006 г. (№ 28.7.2). Исследования поддержаны грантами РФФИ — № 03-05-64210, № 04-05-64414, № 06-05-64748.

**Благодарности.** Автор благодарен своим коллегам Ю. Н. Антонову, Е. Ю. Антонову, В. Н. Глинских, М. Н. Никитенко, К. В. Сухоруковой, В. Н. Ульянову за содержательные и плодотворные обсуждения и помощь при выполнении работы, и всем сотрудникам Лаборатории электромагнитных полей за постоянную моральную и техническую поддержку. Программная реализация разных поколений МФС ВИКИЗ оказалась возможной благодаря сотрудничеству и помощи А. М. Пестерева, А. А. Власова, М. А. Пудовой, А. Н. Фаге, О. А. Екимовой и С. С. Крайниковского.

Автор выражает признательность генеральному директору НПП ГА «Луч» К. Н. Каюрову, сотрудникам НПП ГА «Луч» В. Н. Еремину и В. Т. Лаврухову за постоянное внимание и предоставленные соискателю возможности в практической реализации научных результатов.

Неоценимую помощь в подборе фактического материала и внедрении программных и методических разработок в производство оказали геофизики нефтяных и геофизических компаний Н. К. Глебочева, И. Д. Драпчук, М. П. Пасечник, В. Ю. Матусевич, К. В. Коротков, А. Р. Рахматуллина, Линь Фенг и Линь Хуаген.

Процедуры нейросетевой имитации сигналов ВИКИЗ создавались при участии К. В. Симонова и с использованием программ В. А. Охонина.

Интеграция системы МФС ВИКИЗ в наиболее распространенные пакеты обработки данных геофизических исследований в скважинах проходила при активном творческом участии разработчиков этих систем: Е. В. Ошибкова, С. В. Красильникова, В. М. Кабанова, В. Г. Тульчинского, М. Д. Красножона.

Автор глубоко признателен академику РАН М. И. Эпову, оказавшему большое влияние на формирование научных взглядов соискателя, за всестороннюю поддержку и постоянное внимание к работе.

И особую признательность автор выражает научному руководителю д.т.н. И. Н. Ельцову, без постоянного участия которого эта работа не состоялась бы.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений. Всего 201 страница, 56 рисунков и 17 таблиц. Библиография содержит 110 наименований.

Последовательность изложения материалов в диссертации обусловлена логикой выполненных исследований, включающих следующие основные задачи:

- развитие методов и средств имитации и количественной интерпретации данных ВИКИЗ;
- создание многофункциональной системы обработки и интерпретации каротажных диаграмм МФС ВИКИЗ;
- практическое применение разработанных средств для решения геофизических задач.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ВИКИЗ**

Алгоритмы интерпретации данных эксперимента часто базируются на минимизации отклонений синтетических сигналов от измеренных величин в пространстве модельных параметров. В геоэлектрике процесс минимизации является целенаправленным итерационным перебором сигналов при различных значениях геоэлектрических и геометрических характеристик среды, при этом эффективность и скорость инверсии в первую очередь обусловлены ресурсными характеристиками (быстродействие, используемая память) программ решения соответствующих прямых задач. Поэтому проблема ускорения при вычислении синтетических каротажных диаграмм является предметом усилий многих исследователей.

Одним из перспективных способов приближенного моделирования является метод нейронных сетей. Идея, положенная в основу этой работы, — оставив процесс минимизации классическим, подменить прямую задачу ВИКИЗ на ее нейросетевой аналог.



В разделе 1.1 приведены общие принципы организации нейронных сетей. Работа с моделями нейронных сетей началась с публикации Маккалока и Питтса (McCulloch, Pitts, 1943), которые предложили концепцию формального нейрона и доказали, что сеть, составленная из этих нейронов, эквивалентна по вычислительной мощности машине Тьюринга.

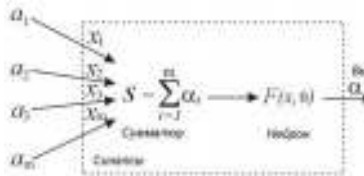


Рис. 1. Ячейка нейронной сети

Формальный нейрон суммирует входные сигналы с определенными весами и применяет к сумме передаточную (нелинейную) функцию; нейроны объединяются в сеть, наиболее распространена послойная организация сети, когда нейроны каждого слоя получают на вход результат предыдущего слоя и выход передают на следующий.

В разделе 1.1.2 обоснована применимость метода нейронных сетей. Существует много вариантов утверждения об аппроксимационных возможностях нейросетей (Gybenko, 1989; Hornik, Stinchcombe, White, 1989; Gilev, Gorban, 1996 и др.), в наиболее общем виде это сформулировано в работе (Горбань, 1998), где доказано, что для аппроксимации непрерывных функций многих переменных достаточно нейросети с произвольной нелинейной функцией одного переменного.

Обучение нейронной сети (раздел 1.1.3) состоит в минимизации штрафа как неявной функции связей. Технике такой оптимизации (разделы 1.1.4-1.1.6) посвящена обширная литература (Ackley, Hinton, Sejnowski, 1985; Zurada, 1992; Haykin, 1994; Горбань, 1990; Горбань, Россиев, 1996 и др.).

Для первых опытов (раздел 1.1.7) был выбран и реализован один из наиболее распространенных и универсальных алгоритмов обучения — back propagation (Rumelhart, Hinton, Williams, 1986), или алгоритм встречного распространения. Моделировалась функция кажущегося сопротивления ВИКЗ и исследовалось, как зависит ошибка подбора от размера сети и времени обучения; для сети из 30 нейронов ошибка составляет доли процента.

Но это одномерная функция, а для больших размерностей время обучения возрастает неприемлемо. Был выбран комплекс «Модели», разработанный Охониным В. А. в Институте вычислительного моделирования СО РАН и Институте биофизики СО РАН (Красноярск) и реализующий обобщение алгоритма back-propagation — алгоритм двойственного функционирования (Охонин, 1987). Основная особенность

алгоритма — обучающие примеры подаются не по одному, а учитываются все вместе на каждом шаге алгоритма. Описанию алгоритма двойственного функционирования и программного комплекса «Модели» посвящены разделы 1.2-1.3.

В разделе 1.4 обоснован диапазон изменения параметров модели. Для трехпараметрической задачи (с фиксированными параметрами скважины) диапазон каждого параметра разбивался на поддиапазоны логарифмически равномерно, и в узлах сетки, которых около 24 000, рассчитывалась прямая задача. Для обучения использовалась десятипроцентная выборка; контроль точности показывал, что этого достаточно для выполнения условий как по ошибке, так и по гладкости аппроксимации. Количество нейронов в сети — 321.

Для четырехпараметрической задачи использовались 8 000 значений для параметров, логарифмы которых случайно распределены. Число нейронов — 1000.

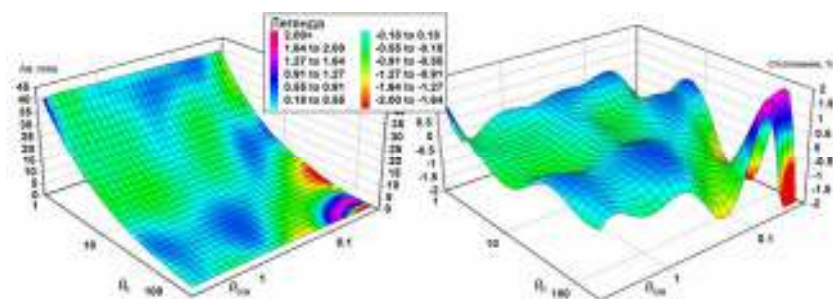


Рис. 2. Ошибки подбора

На рис. 2 показаны ошибки для среднего зонда на двумерном срезе четырехмерной функции в зависимости от сопротивлений пласта и скважины при фиксированных параметрах зоны проникновения. Как видно, показания зонда мало зависят от сопротивления скважины в широком диапазоне. Относительная ошибка везде менее 1%, кроме случая, когда сопротивление скважины — сотые доли Ом·м, а пласта — выше 100 Ом·м. Но здесь сигнал мал, и абсолютная ошибка мала.

Таблица 1

Номер зонда	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ср. отклонение, %	0,89	0,43	0,11	0,12	0,22	0,45	0,72	0,15	0,70

Нейросеть строилась для каждого зонда независимо, в табл. 1 показаны достигнутые ошибки восстановления, причем наибольшие ошибки приходится на контрастные границы диапазонов; в рабочей области они меньше в 5 раз. Такое качество достаточно для интерпретации.

Построенный нейросетевой аналог прямой задачи ВИКИЗ оказался быстрее обычной задачи более чем в 6 000 раз.

## **Глава 2. ВЫДЕЛЕНИЕ ПЛАСТОВ**

Одна из важнейших задач геофизических исследований скважин — выделение и идентификация однородных интервалов (пластов). Внутри этих интервалов данные каротажных диаграмм усредняются, и «среднепластовые» значения приписываются пласту. Сценарий дальнейшей геофизической интерпретации и определение подсчетных параметров в значительной степени зависят от корректности процедуры выделения пластов. В практике ГИС эта задача решается различными методами. Часто при выделении пластов за основу принимается вертикальный градиент электрического сопротивления, данные гамма-каротажа (ГК), а также измерения потенциала самополяризации (ПС). Мы использовали для выделения пластов только данные ВИКИЗ.

Задача выделения пластов и снятие существенных значений решалась поэтапно:

- Построение теоретического решения задачи профилирования высокочастотным индукционным зондом слоя и одной границы, исследование модельных сигналов.
- Разработка алгоритмов выделения пластов и снятия «среднепластовых» значений.
- Численное двумерное моделирование сигналов ВИКИЗ для типичных моделей геологических разрезов, тестирование алгоритма выделения пластов.
- Опробование алгоритмов на практических данных, полученных в скважинах на территории Западной Сибири.

Построение алгоритмов выделения границ пластов базируется на решении прямой задачи ВИКИЗ для горизонтально-слоистой среды, физическом анализе поведения разности фаз при пересечении границ и изучении соответствующих синтетических диаграмм.

Исходную двумерную модель среды с помощью алгоритма расстановки границ разбивают на пласты, в которых снимают существенные

значения, минимизируя влияние вмещающих пород и получая набор одномерных цилиндрически-слоистых моделей (раздел 2.1).

Для выделения и идентификации пластов из решения для компонент электромагнитного поля произвольного магнитного диполя построено решение прямой задачи для горизонтально-слоистой модели: пласт между надпорным и подстилающим слоями. Получено частное решение для одной границы (раздел 2.2).

На основе физического анализа поведения электромагнитного поля при профилировании горизонтальной границы предложен простой критерий расстановки границ (раздел 2.3) — коэффициент вертикального разрешения, являющийся суммой логарифмических производных (рис. 3):

$$\eta_i = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{\partial \ln |\varepsilon_i|}{\partial z}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ — номера зондов ВИКИЗ,}$$

$\varepsilon$  — измеренный сигнал,  $z$  — расстояние по скважине.

Построен алгоритм выделения пластов и снятия существенных значений по данным ВИКИЗ. Предложены автоматические процедуры, реализующие разработанный алгоритм.

Выполнена проверка работы процедур на синтетических диаграммах (раздел 2.4). Показано, что ошибки восстановления истинных положений границ в подавляющем большинстве случаев не превышают шага дискретизации.

Алгоритм опробован на практических данных в терригенных разрезах (раздел 2.5), и показана его эффективность. Выполнена обработка большого объема практических диаграмм по скважинам Федоровского и других месторождений Среднего Приобья.

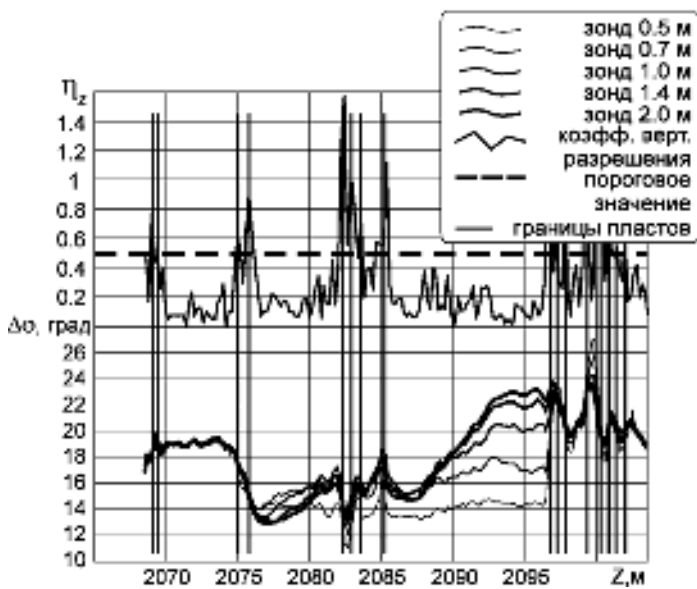


Рис. 3. Выделение пластов по практическим каротажным диаграммам

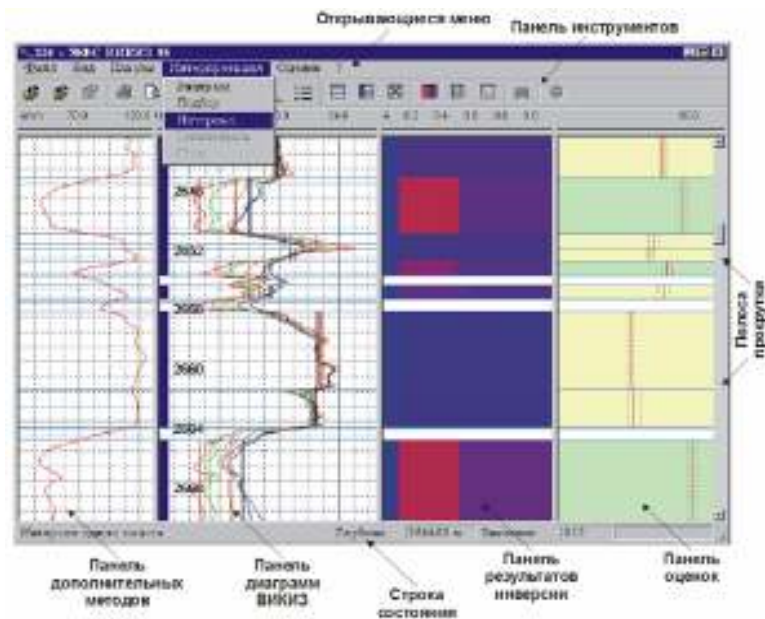


Рис. 4. Интерфейс МФС ВКИЗ

### Глава 3. РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Первые успешные испытания аппаратуры ВКИЗ прошли в 80-е годы XX столетия. Через 10 лет началось масштабное промышленное внедрение, стала актуальной задача оперативной интерпретации получаемых данных. Первое поколение системы интерпретации МФС ВКИЗ было разработано для первых персональных компьютеров в системе MS DOS. Современный интерфейс системы представлен на рис. 4. По сравнению с применявшимися ранее палеточными методами компьютеризированная интерпретация привела к повышению достоверности и оперативности обработки экспериментальных данных. Система МФС ВКИЗ успешно внедрялась в практику десятков геофизических предприятий для исследований в скважинах при

непосредственном участии соискателя (ОАО «Сургутнефтегаз», ОАО «Татнефтегеофизика», ОАО «Казпромгеофизика», «Туркменнебитгеофизика», «Shengli Oil Field Well Logging Company» и др.).

Высокое пространственное разрешение ВИКИЗ и развитые программно-алгоритмические средства позволили решить целый ряд нестандартных задач по детальному изучению околоскважинного пространства. В диссертации рассмотрен пример поточечной инверсии в случае, когда свойства пласта плавно меняются по латерали в горизонтальной скважине (раздел 3.5).

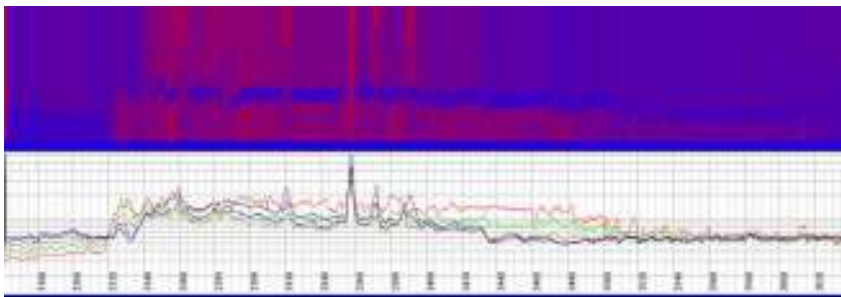


Рис. 5. Скважина с горизонтальным завершением. Результаты интерпретации

При бурении горизонтальной скважины на Федоровском месторождении проведена серия промежуточных каротажей с перекрытием, что впервые позволило проследить эволюцию зоны проникновения и формирование окаймляющей зоны. Определены параметры прискважинной области как функция времени в течение девяти суток после вскрытия пласта. Эти работы дали толчок к развитию нового направления — электрогидродинамического моделирования.

Другой пример — тестовая скважина в восточном Китае, которая обсажена стеклопластиковой трубой, а затрубное пространство засыпано пластиковыми шариками. Влияние такой конструкции на зонды индукционного каротажа относили к погрешности измерений; с помощью ВИКИЗ впервые были изучены параметры прискважинного пространства (раздел 3.7).

Были подобраны сопротивления узкой прискважинной зоны. Затем было зафиксировано полученное среднее значение сопротивления — около  $1.5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  — и определялась толщина. Разброс параметров невелик, доверительный интервал очень узкий, что говорит о высоком качестве подбора.

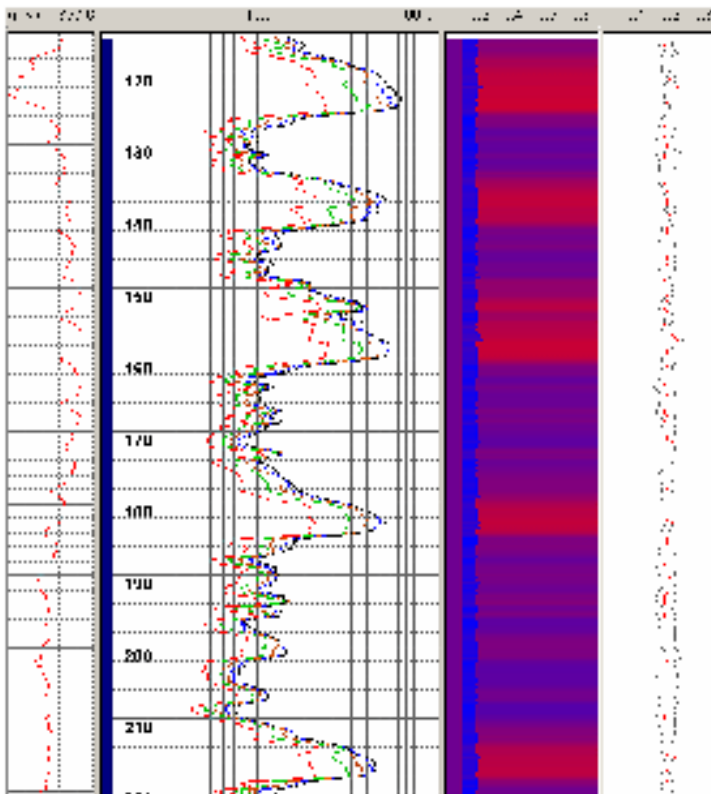


Рис. 6. Скважина со стеклопластиковой обсадкой. Результаты интерпретации

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным результатом работы является создание компьютерной системы для имитации и интерпретации данных высокочастотных электромагнитных зондирований в скважинах, вскрывающих нефте- и газонасыщенные коллекторы, направленной на автоматизацию и повышение достоверности определения параметров геоэлектрического разреза.

Разработанная на основе созданных соискателем алгоритмов и процедур компьютерная система автоматизированной интерпретации



данных высокочастотного электромагнитного каротажа МФС ВИКИЗ имеет ряд преимуществ по сравнению с существующими системами обработки данных ГИС. Во-первых, это единственная на настоящее время система, позволяющая количественно интерпретировать данные метода ВИКИЗ, обеспечивая полный цикл обработки: импорт данных, визуализацию, трансформации и сглаживание, выделение пластов по данным ВИКИЗ и снятие существенных значений, автоматическую и ручную инверсию, оценку достоверности и экспорт результатов. Во-вторых, система позволяет обрабатывать данные, полученные в самых разных геологических условиях в разведочных и эксплуатационных скважинах, бурящихся в терригенных и карбонатных отложениях с применением пресных глинистых буровых растворов, высокопроводящих растворов на биополимерной основе, непроводящих растворов на нефтяной основе. В-третьих, система позволяет в едином интерфейсе обрабатывать данные, полученные любыми выпущенными на основе технологии ВИКИЗ приборами — классическими пятизондовыми кабельными приборами, девятизондовыми устройствами ВЭМКЗ, автономными приборами АЛМАЗ и АЛМАЗ-2, приборами каротажа во время бурения ВИКПБ. В-четвертых, реализована интеграция системы МФС ВИКИЗ в наиболее распространенные пакеты обработки данных геофизических исследований в скважинах (СИАЛ-ГИС, GeoOffice Solver, GeoПоиск, Gintel, ПРАЙМ, Select). В-пятых, система прошла серьезную проверку практикой и используется в профильных организациях при полевых исследованиях методом ВИКИЗ в скважинах, вскрывающих нефте- и газонасыщенные коллекторы. Алгоритмы и программы прошли проверку и внедрены в 35 организациях России, Китая, Казахстана, Узбекистана и Туркменистана. Простота в эксплуатации и дружественный интерфейс являются хорошими предпосылками для обучения студентов-геофизиков; многофункциональная система обработки и интерпретации МФС ВИКИЗ используется в учебном процессе в ряде профильных ВУЗов.

Разработанные процедуры имитации данных электромагнитного каротажа на основе нейросетей более чем в 6 000 раз превосходят существующие решения по скоростным характеристикам при достаточной для практической интерпретации точности.

Алгоритм выделения пластов только по данным ВИКИЗ, основанный на теоретическом решении задачи профилирования высокочастотным индукционным зондом слоя и одной границы, создан впервые и отличается простотой реализации при достаточной

эффективности: ошибки восстановления истинных положений границ в подавляющем большинстве случаев не превышают шага дискретизации.

Разработанные программно-алгоритмические средства были применены для интерпретации данных ВИКИЗ в боковых стволах, бурящихся с применением высокопроводящих буровых растворов в Сургутском регионе, и скважин с горизонтальным завершением Нижневартовского региона. По данным повторных измерений ВИКИЗ в скважинах с горизонтальным завершением Федоровского месторождения изучена эволюция параметров зоны проникновения фильтрата буровой жидкости и определены параметры разрезов как функция времени. Выполнена обработка практических диаграмм ВИКИЗ, полученных в высокоомном карбонатном разрезе Волго-Уральского региона. По данным ВИКИЗ определены параметры техногенных изменений в околоскважинном пространстве для скважины со стеклопластиковой обсадкой (восточный Китай).

Метод нейросетевого моделирования показал свою эффективность для имитации данных электромагнитного каротажа и позволил кардинально ускорить прямую задачу ВИКИЗ. Перспективным представляется создание нейросетевых аналогов прямых задач для методов наземной электроразведки, где требования к эффективности стоят еще острее в связи с большими объемами регистрируемых изменений.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ельцов И.Н., Эпов М.И., Ульянов В.Н., Никитенко М.Н., **Соболев А.Ю.**, Пестерев А.М. *Анализ и инверсия каротажных диаграмм в системе МФС ВИКИЗ-98* // Каротажник. – 2000. – № 74. – С. 70-84.

2. *Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. Методическое руководство* / Ред. Эпов М.И., Антонов Ю.Н. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН. – 2000. – 121 с.

3. Epov M.I., Antonov Yu.N., Yeltsov I.N., ..., **Sobolev A.Yu.** and others. *VIKIZ Method for Logging Oil and Gas Boreholes* // Novosibirsk: Branch "Geo" of the Publishing House of the SB RAS. – 2002. – 112 p.

4. Epov M., Yeltsov I., Glebocheva N., Antonov Yu., Penkovsky V., Lukyanov E., **Sobolev A.**, and Ulyanov V. *Time Evolution of the Near Borehole Zone in Sandstone Reservoir through the Time-Lapse Data of High-Frequency Electromagnetic Logging* // Petrophysics. – 2002. – Vol. 43, No 2. – P. 121-122.

5. Эпов М.И., Ельцов И.Н., Кашеваров А.А., **Соболев А.Ю.**, Ульянов В.Н. *Эволюция зоны проникновения по данным электромагнитного каротажа и гидродинамического моделирования* // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45. – № 8. – С. 1031-1042.
6. Екимова О.А., **Соболев А.Ю.**, Ельцов И.Н. *Инверсия данных электромагнитного каротажа в классе моделей с непрерывным распределением УЭС* // Каротажник. – 2008. – № 2. – С. 53-58.
7. Ельцов И.Н., **Соболев А.Ю.**, Неделько В.М. *Конкретизация LAS-стандарта и программа LAS-MAKER* // Каротажник. – 1999. – № 54. – С. 75-83.
8. **Соболев А. Ю.**, Ельцов И. Н., Симонов К. В. *Нейросетевое моделирование сигналов ВИКИЗ* // Каротажник. – 2006. – № 9. – С. 136-152.
9. Эпов М.И., Ельцов И.Н., **Соболев А.Ю.** *Выделение пластов в терригенном разрезе по данным ВИКИЗ* // Каротажник. – 1999. – №57. – С. 58-69.
10. Ельцов И.Н., **Соболев А.Ю.** *Автоматизированная оценка радиального распределения электропроводности в пластах-коллекторах по данным высокочастотных индукционных каротажных зондирований* // Состояние и пути развития высокочастотного электромагнитного каротажа. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. НИЦ ОИГГМ СО РАН. – 1998. – С. 56-59.
11. **Соболев А.Ю.** *Выделение и оценка параметров пластов-коллекторов по данным высокочастотных индукционных каротажных зондирований* // Студент и научно-технический прогресс: Геология. Материалы XXXVI Международной научной студенческой конференции 20–25 апреля 1998 г. – Новосибирск: НГУ. – 1998. – С. 31-32.
12. Петров А. Н., Каюров К. Н., Эпов М. И., Ельцов И. Н., **Соболев А.Ю.** *Новый программно-аппаратурный девятизондовый комплекс высокочастотного электромагнитного каротажа* // Электрические и электромагнитные методы исследования в нефтегазовых скважинах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ. – 1999. – С. 122-130.
13. **Соболев А.Ю.**, Жмаев С.С. *Статистический анализ зондов ВИКИЗ* // Электрические и электромагнитные методы исследования в нефтегазовых скважинах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ. – 1999. – С. 242-244.
14. Охонин В. А., Симонов К. В., Эпов М. И., Ельцов И. Н., **Соболев А.Ю.** *Нейросетевое моделирование сигналов ВИКИЗ* // Электрические и электромагнитные методы исследования в нефтегазовых скважинах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ. – 1999. – С. 79-85.
15. Yeltsov I.N., Epov M.I., Okhonin V.A., Simonov K.V., **Sobolev A.Yu.** *Neural Network Modeling Of Electromagnetic Response* // 25th General Assembly EGS: Geophysical Research Abstracts. – Nice, France, 24-29 April, 2000. – Vol. 2. – ISSN 1029-7006.
16. Крайниковский С. С., Власов А. А., Гарке Ю. С., **Соболев А. Ю.**, Пудова М. А. *Визуализация геофизических данных в системе комплексной интерпретации* // Технологии Microsoft в теории и практике программирования, 1-2 марта 2008 г.: Тез. докл. конф. – Новосибирск, 2007. – С. 125-126.

Технический редактор О.М. Варакина

---

Подписано к печати 26.08.2008

Формат 60x84/16. Бумага офсет № 1. Гарнитура Таймс.

Печ. л. 0,9. Тираж 120. Заказ № 13.

---

ИНГГ СО РАН, ОИТ. 630090, Новосибирск, пр-п. Ак. Коптюга, 3.