

Исторические и геолого- геофизические очерки

*В. А. Пантиухин, А. В. Малинин, В. В. Вержбицкий,
А. А. Левченко, Л. И. Павлова, Б. В. Рудяк, О. М. Снежко*
ООО «Нефтегазгеофизика»

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АППАРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА

«В начале славных дел...»

Отдел электрического каротажа в Калининском отделении ВНИИ-ГИС был создан в конце 70-х годов прошлого века после переезда из г. Октябрьского в г. Калинин Кима Лайошевича Санто (заведующий отделом), Галины Яковлевны Каган (направление – аппаратура) и Евгения Викторовича Чаадаева (направление – теория и методика). Чуть позже в лабораторию пришел Иван Петрович Бриченко – опытный производственник, работавший до этого главным геологом Нежинской ЭГИС на Украине и в Якутии (направление – интерпретация).

Остальных сотрудников набирали уже в г. Калинине. Костяк лаборатории сформировали «теоретики» – математики и физики – выпускники Калининского университета (В. Вержбицкий, О. Кузьмичев, Л. Павлова, Л. Соколова, Ю. Шеин и др.) и МГУ им. М. В. Ломоносова (В. Пантиухин, Б. Рудяк, Е. Датнов). Затем сформировалось и методическое направление (О. Заморина, А. Левченко, С. Максимов, А. Малинин, О. Снежко, В. Суходолов).



Евгений Викторович Чаадаев



Иван Петрович Бриченко

Необходимо было решить три основные задачи:

- 1) разработать процедуры комплексной интерпретации данных существующей аппаратуры БКЗ, БК, ИК и внедрить их в производство;
- 2) на основе математического моделирования обосновать оптимальные параметры новой аппаратуры ЭК, ЭМК;
- 3) создать методическое обеспечение разрабатываемой в отделе новой многозондовой аппаратуры ИК, в том числе с регистрацией активной и реактивной компонент сигнала.

Удивительно доброжелательные, со взаимной симпатией отношения в коллективе лаборатории способствовали эффективной работе в связках «теоретик – методист – производственник» и в работе по проектам.

В первые годы средний возраст сотрудников лаборатории составлял 25–26 лет. Нашим «старикам», как любя между собой мы иногда называли Е. В. Чаадаева и И. П. Бриченко, тогда было 37 и 42 года...

Ниже приведен обзор методических работ в отделе за советский период 1978–1991 гг.



Обсуждение. Слева направо: А. Левченко, О. Кузьмичев, О. Снежко

**«Все новое – это хорошо забытое старое».
Решения прямых задач**

Совершенствование теории ЭК и ЭМК развивалось в направлении усложнения моделей среды, начиная от аналитических решений прямых задач для относительно простых моделей с плоскопараллельны-

ми или цилиндрическими границами раздела, но с учетом реальной геометрии зондовых установок, и кончая сложными геоэлектрическими моделями (пачки пластов с проникновением, пересеченных скважиной и др.) с использованием методов интегральных уравнений и конечных элементов.

Электрический каротаж (БКЗ, БК). Имевшиеся аналитические решения в основном были получены в предположении точечных электродов. Были решены прямые задачи для реальных размеров электродов [10, 41, 54], при смещении электродов с вертикальной оси скважины и отличии формы сечения скважин от круговой [3]. Это было особенно важно для разрабатываемых и внедряемых в практику различных типов зондов бокового каротажа (БК-3, БК-5, БК-7, БК-9).



Теоретики за работой. В. А. Пантиухин и Ю. Л. Шейн (стоит). 80-е годы

Также последовательно были решены прямые задачи для зондов БКЗ, БК-3, БК-3/5, БК-7/9 с реальными размерами электродов в анизотропной среде с цилиндрическими границами раздела [41, 52, 53]; в анизотропной среде с наклонными границами, в том числе решение прямой задачи БКЗ в пласте неограниченной мощности с осью анизотропии, нормальной к скважине [15]; одиночного пласта во вмещающих породах и пачки пластов с проникновением [25, 36–38, 47, 55].

Индукционный каротаж (ИК). Исследовано влияние реальных конструктивных параметров зондов ИК [1, 23, 43], решены прямые задачи при смещении приборов с оси скважины [6] и отличии формы сечения скважины от круговой [16].

Решены базовые для интерпретации прямые задачи в модели одиночного пласта с зоной проникновения, залегающего во вмещающих породах, и пачки пластов с проникновением [11, 47].

Важным результатом было решение прямой задачи ИК для пачки наклонных анизотропных пластов [5, 18, 45]. На основе этой задачи были разработаны приемы оценки коэффициента анизотропии, перпендикулярной к оси скважины, по комплексу зондов ИК (например, если анизотропия горных пород относительно электросопротивления вызвана присутствием в них системы ориентированных вертикальных трещин в вертикальной скважине [7, 8]), в дальнейшем эти решения были использованы для интерпретации данных многозондовых комплексов ИК в горизонтальных скважинах.

Проведено исследование влияния азимутальной неоднородности зоны проникновения на результаты индукционного каротажа [12] и обоснована возможность измерения аксиальной асимметрии прискважинной части пласта индукционным методом [14].

На перспективу В. В. Вержбицким и О. Б. Кузьмичевым была выполнена разработка теоретических основ трехкомпонентного электромагнитного каротажа анизотропных сред с произвольной ориентацией одной из главных осей анизотропии (О. Б. Кузьмичев, 1993 г.).

Микрометоды. Получены решения прямых задач микрокаротажа и бокового микрокаротажа в радиально-неоднородной среде [13, 19, 20]. В частности, было показано, что для зонда БМК влияние неизмененной проникновением части пласта сохраняется при относительной глубине зоны проникновения $D/d = 4$, а причиной «отрицательных» приращений микрозондов является электрическая анизотропия пород.

Проведено исследование возможностей применения зондов бокового каротажа с плоским полем для изучения удельного электрического сопротивления (УЭС) прискважинной части пласта [56].

Полученные алгоритмы прямых задач позволили провести математическое моделирование различных геолого-технологических эффектов, произвести расчеты теоретических зависимостей и палеток для конкретных комплексов зондов, что, в свою очередь, позволило разработать цикл методических руководств по интерпретации данных электрического и индукционного каротажа.

«Перечитывая заново...» Методические руководства и альбомы палеток

В период 1983–1993 гг. сотрудники лаборатории разработали и приняли участие в подготовке 9 методических руководств по определению геоэлектрических параметров различных типов разреза и различных комплексов зондов [22, 32–34]. Ниже приводится краткая характеристика разработанного в те годы методического обеспечения.

Изорезистивная методика. Для совместной обработки данных БКЗ, БК, ИК И. П. Бриченко предложен подход, основанный на включении одиночных зондов ИК, БК и потенциал-зонда в стандартную методику БКЗ [49]. Теоретические кривые этих зондов, размещенные на соответствующих (с шифром $\rho_{зп}/\rho_c$, D/d) палетках БКЗ, получили название изорезист [50]. Обрабатывается комплексная кривая зондирования. В тонких пластах левая ветвь этой кривой обеспечивается короткими градиент-зондами, а правая – показаниями потенциал-зonda, зондов БК и ИК [2, 51]. Такой подход оказался удачным и получил широкое распространение на производстве. Он использован во всех разработанных в отделе методиках обработки данных БКЗ, БК, ИК вплоть до последних методик «ручной» интерпретации [33, 34]. Информативность и наглядность подхода определили его массовое применение для визуализации результатов в различных компьютерных программах и в настоящее время.

Электрическая неоднородность зоны проникновения. Классическая модель зоны проникновения, например, реализованная в палетках БКЗ Л. М. Альпина, предполагает, что зона проникновения имеет круговое сечение и электрически однородна – ее УЭС $\rho_{зп}$ остается постоянным в пределах всей зоны проникновения с диаметром D . Однако по результатам петрофизического моделирования и откачкам

флюида из ближней зоны пласта (например, В. К. Федорцов, 1974 г.) зона проникновения реально неоднородна, в том числе по геоэлектрическим характеристикам.

Исследовано несколько видов неоднородности зоны проникновения [2, 7, 8, 12, 17, 36, 55], основной вариант – радиальная электрическая неоднородность зоны проникновения.

При радиальной электрической неоднородности зоны проникновения ее удельное сопротивление градиентно изменяется от сопротивления промытой зоны до сопротивления пласта. Математическое моделирование [24, 31, 55] показало необходимость применения этой модели при совместной обработке данных зондов различного типа. При этом показана некорректность описания радиально-неоднородных зон проникновения с помощью понятия эквивалентного диаметра (диаметра эквивалентной по какому-либо методу однородной зоны). Предложены понятия равноинтегральных диаметров зоны по сопротивлению или по проводимости, величины которых не зависят от характеристик зондов измерительного комплекса.

С учетом полученных результатов для совместной обработки данных БКЗ, БК, ИК в одиночных пластах различной толщины была принята радиально-неоднородная модель зоны проникновения, состоящая из однородного (промытая зона) и градиентного (с линейным изменением удельного сопротивления по радиусу) слоев. Параметр радиальной неоднородности $\eta = (D_{\text{пп}} - d_c) / (D_{\text{зп}} - d_c)$ может изменяться от 0 (чисто градиентная зона) до 1 (однородная зона проникновения). В [34] при расчете палеток принят оптимизированный параметр $\eta = 0,25$.

В пластах с глубоким и контрастным понижающим проникновением использование модели с одним фиксированным значением параметра радиальной неоднородности $\eta = 0,25$ ограничено, так как ошибки в решении обратной задачи при обработке данных БКЗ, БК, ИК могут достигать 30–50%. Поэтому в [33] используется интерпретационная модель с тремя значениями параметра η : 0,1; 0,25 и 0,6. Это позволяет практически полностью устранить влияние радиальной неоднородности зоны на результаты интерпретации.

Слоистые пласти. Методики [33, 34] позволяли обрабатывать данные БКЗ, БК, ИК в одиночных пластах толщиной от 1,6 м и более. Развитие теории позволило решить прямую задачу для пачки пластов с ритмичным чередованием прослоев ограниченной толщины (от 0,4 до 1,6 м) и расширить область интерпретации [26, 27].

Моделирование проводилось для макрослоистого пласта с чередованием проницаемых и непроницаемых прослоев с различными УЭС и параметрами зоны проникновения (диаметра и УЭС) проницаемых прослоев. Большой набор моделей слоистого пласта учитывал разнообразное соотношение толщин и УЭС групп прослоев.

При обработке входными параметрами являются интегральные значения продольного УЭС неизмененной части пласта ρ_n^t и зоны проникновения ρ_{n3}^t , относительный диаметр зоны проникновения D/d макрослоистого пласта в целом, а также экстремальные показания зонда БК в проницаемых и непроницаемых прослоях.

Далее с использованием специально разработанного комплекта палеток определялись УЭС группы непроницаемых (ρ_n) и проницаемых (ρ_n, ρ_{n3}) прослоев. В зависимости от соотношения УЭС прослоев были рассчитаны шесть основных моделей слоистого пласта – три для повышающего и три для понижающего характера проникновения промывочной жидкости в пласт. Методика была подготовлена в 1988 г., в дальнейшем как составная часть вошла в [34].

Градиентные пласти и переходные зоны отличаются от моделей одиночного однородного или слоистого пласта. Для таких объектов выполнен большой объем математического моделирования показаний зондов, в том числе при нарушении профиля насыщенности вмещающими породами [28, 29]. По результатам исследований были подготовлены методические рекомендации с набором теоретических кривых [32].

Пределы применимости процедуры последовательного введения поправок. Установлена ограниченная область применения процедуры последовательного введения поправок для зондов ЭК и ИК (сначала поправка за ограниченную мощность пласта, затем – за влияние зоны проникновения). Показана необходимость одновременного введения поправок за ограниченную толщину пласта и влияние зоны проникновения [39]. Соответствующие расчеты были реализованы в [22], в наиболее полном варианте – в [34].

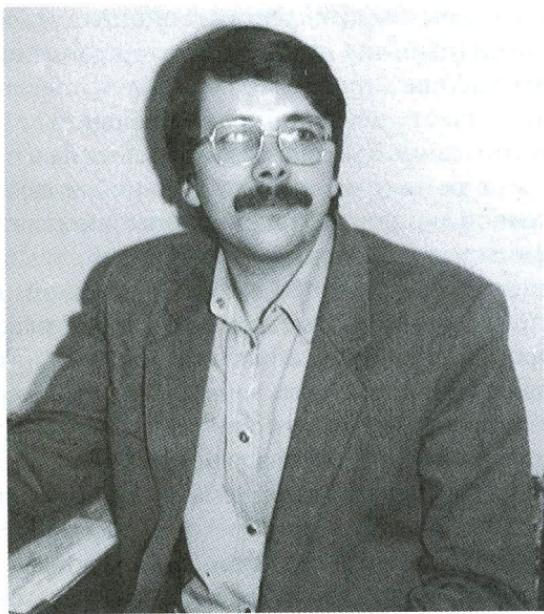
При компьютерной интерпретации в программе INTEK и последующих вариантах программы для определения геоэлектрических параметров непосредственно использована модель пласта ограниченной толщины с зоной проникновения. В то же время для микрометодов доказана корректность введения поправки за глинистую корку в показания зонда БМК в рамках процедуры последовательного введения поправок [19, 20].

Методическое обеспечение многозондовых комплексов ИК.
Для разрабатывавшейся под руководством К. Л. Санто и Г. Я. Каган аппаратуры индукционного каротажа АИК-5 и ИКЗ-1 было создано методическое обеспечение с комплектом палеток. Следует отметить две особенности методических решений для этой аппаратуры.

1. В обоих типах аппаратуры раздельно регистрировались активная и реактивная компоненты наблюдаемого сигнала. Регистрация реактивной компоненты изначально предназначалась для снижения влияния скин-эффекта. Но по результатам математического моделирования было установлено, что радиальная глубинность реактивной составляющей больше, чем у активной. Поэтому аппаратура АИК-5 с одиночным зондом 7И1,6 фактически была двухзондовым прибором ИК с различной глубинностью. Это обстоятельство было учтено в методике интерпретации.

Аппаратура индукционного каротажного зондирования ИКЗ-1 разрабатывалась для исследования объектов со сверхглубокими зонами проникновения на севере Западной Сибири. Предложенные сверхдлинные градиент-зонды (Н. А. Ирбэ, Э. Я. Волков) не могли надежно решить эту задачу из-за наличия в разрезе тонких высокоомных карбонатизированных прослоев, формировавших зоны экранирования до 18 м. В аппаратуре ИКЗ-1, состоявшей из трех зондов ИК, использовался сверхдлинный зонд ИК с длиной 3 м и регистрацией активной и реактивной компонент сигнала, то есть фактически было 4 зонда с разным радиусом исследования. По результатам расчетов реактивная компонента этого зонда «пробивала» зону проникновения глубиной $D = 6$ м (геометрический фактор пласта составлял около 30%, что уже достаточно для определения его удельного сопротивления).

2. Для интерпретации данных многозондовой аппаратуры ИКЗ-1 были рассчитаны два «интерпретационных» зонда, как линейная комбинация физических зондов. Эти зонды имели лучшие характеристики по сравнению с физическими зондами, в частности, по влиянию скин-эффекта и радиальному радиусу исследования. Они фактически были прообразом «синтетических» зондов, использующихся в настоящее время при обработке данных многозондового ИК.



Юрий Львович Шein, ведущий разработчик программ интерпретации
данных электрического и электромагнитного каротажа
INTEK, ЭКАР, LogWin-ЭК

**«Ну что можно при лучине написать?
Ну, «Евгений Онегин»...»
От ручной интерпретации к компьютерной**

В конце 1980-х годов в институте появились первые персональные компьютеры IBM PC. И уже к 1988 г. Ю. Л. Шеиным были разработаны две программы обработки данных ЭК, ЭМК для персональных компьютеров в системе DOS.

Первая программа – INTEK – была предназначена для определения в попластовом режиме геолектрических параметров коллекторов и неколлекторов. В программе был реализован полный цикл обработки, включавший импорт данных из las-файла, визуализацию кривых, увязку по глубине, выделение и типизацию пластов, снятие отсчетов с учетом типов зондов, введение поправки за скважину в поточечном режиме, обработку данных БКЗ, БК, ИК в попластовом режиме с определением ρ_n , ρ_{3n} , D/d и визуализацией кривой в поле палетки.

Изюминкой программы была интерпретационная модель. В ней не использовался типичный для «ручной» интерпретации (и даже для большинства современных программ) подход с приведением значений зондов к условиям пласта неограниченной толщины с последующей обработкой в рамках данной модели. Поиск решения в программе был реализован прямо в рамках интерпретационной модели одиночного пласта ограниченной мощности в однородных вмещающих породах. В «ручном» варианте такой подход «не пошел», так как необходимое число палеток увеличивалось в геометрической прогрессии за счет двух дополнительных параметров – толщины пластов H и УЭС вмещающих пород $\rho_{\text{вм}}$. Решение обратной задачи при компьютерной обработке основано на поиске электрических параметров пласта на хранящейся в электронном виде сетке палеточных данных, предварительно рассчитанных с использованием разработанного эффективного быстродействующего алгоритма моделирования показаний зондов БКЗ, БК, ИК для такой интерпретационной модели [47]. Даже в пластах ограниченной толщины стало возможным использовать «длинные» зонды БКЗ (экстремальные или средние отсчеты) в дополнение к зондам БК и ИК. Кроме того, в программе была возможность задать значения случайных погрешностей измерений и ввести априорную информацию о вероятном диапазоне изменения искомых параметров (например, D/d), что позволяло сузить область эквивалентных решений [46, 57].

Вторая программа – ОКА – была предназначена для выявления, оценки величины и устранения систематических погрешностей измерений (смещение нуля и искажения масштаба записи) зондов БКЗ, БК, ИК [30, 40]. Программа базировалась на том, что при наличии в скважине N опорных пластов при измерениях M -зондами общего количества измерений $M \cdot N$ достаточно, чтобы найти неизвестные систематические погрешности измерений у каждого зонда ($2M$), два геоэлектрических параметра каждого опорного пласта ($2N$) и УЭС скважины. При выполнении условия $M \cdot N > 2M + 2N + 1$ имеется возможность оценить и величины систематических погрешностей у зондов, и геоэлектрические параметры опорных пластов. Например, для комплекса из 8 зондов (5 градиент-зондов БКЗ, потенциал-зонд, БК, ИК) для решения этой задачи минимально необходимо всего 4 опорных пласта различного сопротивления. Проблема определения измерений была сформулирована как задача поиска минимума

невязки фактических и расчетных показаний зондов по переменным, описывающим электрические параметры опорных пластов и аддитивные и мультипликативные составляющие систематических погрешностей измерений.

Комплект этих двух программ сразу оказался востребованным на производстве при массовой обработке данных, в том числе для подсчета запасов, и контроля качества (особенно оцифрованных диаграмм).

В дальнейшем обе программы легли в основу современного программного комплекса LogWin-ЭК, который позволяет проводить обработку в произвольных сочетаниях практически всего парка аппаратуры электрического каротажа, выпускавшегося в СССР и России (более 200 типов зондов) в широком диапазоне изменения диаметра скважин (80–600 мм), в пластах толщиной от 0,8 м и при широком диапазоне изменения геоэлектрических параметров разреза.

В целом в период 1983–1993 гг. в отделе были подготовлены и защищены одна докторская (Е. В. Чаадаев) и 14 кандидатских диссертаций по вопросам теории, методики и интерпретации данных электрического и электромагнитного каротажа (И. П. Бриченко, В. В. Вержбицкий, Е. Л. Датнов, А. Ф. Дёмин, О. Б. Кузьмичёв, А. А. Левченко, С. Н. Максимов, А. В. Малинин, С. И. Морозов, В. А. Пантиухин, А. Н. Пестов, О. М. Снежко, Е. В. Чаадаев, Ю. Л. Шеин).

Текст обзора с расширенным списком литературы приведен в https://www.karotazh.ru/ru/publications_2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баукин О. Н., Рудяк Б. В., Пантиухин В. А. Влияние ферритовых сердечников конечных размеров на характеристики зондов индукционного каротажа / Вопросы физики формообразования и фазовых превращений. Сборник научных трудов КГУ. Калинин, 1987.
2. Бриченко И. П., Пантиухин В. А., Чаадаев Е. В. Определение электрических параметров коллекторов в неоднородных разрезах / В сб. «Использование материалов геофизических исследований скважин при комплексной интерпретации и подсчете запасов нефти и газа». М.: Недра, 1986.
3. Вержбицкий В. В. Зонды БКЗ в скважине эллиптического сечения // Известия вузов. Геология и разведка. 1984. № 7.
4. Вержбицкий В. В. Точечный источник постоянного тока в слоистой анизотропной среде // Изв. РАН. Физика Земли. 1992. № 2.
5. Вержбицкий В. В. Электромагнитное поле в слоистой анизотропной среде // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1988. № 4.

6. Вержбицкий В. В., Кузьмичев О. Б., Юматова Т. Г. Влияние анизотропии на показания индукционных зондов, смещенных с оси скважины // Известия вузов. Геология и разведка. 1991. № 6. С. 97–102.
7. Вержбицкий В. В., Малинин А. В. Обоснование модели трещиноватого пласта при комплексной интерпретации данных электрического каротажа / В сб. «Использование материалов геофизических исследований скважин при комплексной интерпретации и подсчете запасов нефти и газа». М.: Недра, 1986.
8. Вержбицкий В. В., Малинин А. В., Кузьмичев О. Б., Юматова Т. Г. Применение электрокаротажа при исследовании анизотропии проницаемости горных пород // Разведочная геофизика. Обзор ВИЭМС. 1992. Вып. 4. 28 с.
9. Вержбицкий В. В., Малинин А. В., Леванов Ю. А. О возможности выделения пластов, анизотропных в плоскости напластования, по комплексу зондов ИК в скважинах, бурящихся на непроводящей промывочной жидкости / В сб. «Совершенствование технологии интерпретации и петрофизического обеспечения геофизических исследований нефтегазоразведочных скважин». НПГП «ГЕРС», ВНИГИК. Тверь, 1992.
10. Вержбицкий В. В., Пантиухин В. А., Павлова Л. И. О влиянии анизотропии пород на показания многоэлектродных зондов бокового каротажа с протяженными экранированными электродами // ВИЭМС. Разведочная геофизика. 1980. Вып. 6.
11. Вержбицкий В. В., Пантиухин В. А., Чаадаев Е. В. Поле вертикального магнитного диполя в пласте ограниченной мощности с проникновением / В кн. «Разведочная геофизика: теория, методика, результаты». Киев: Наукова думка, 1984. С. 82–89.
12. Вержбицкий В. В., Ручкин А. В., Чаадаев Е. В. Влияние азимутальной неоднородности зоны проникновения на результаты электрического и индукционного каротажа // Известия вузов. Геология и разведка. 1989. № 2.
13. Вержбицкий В. В., Соколова Л. А. Численное решение прямой задачи микрокаротажа обычными зондами // Известия вузов. Геология и разведка. 1986. № 6. С. 116–120.
14. Вержбицкий В. В., Чаадаев Е. В., Шеин Ю. Л. Исследование возможности измерения аксиальной асимметрии прискважинной части пласта индукционным методом // Геофизическая аппаратура. 1986. № 86.
15. Вержбицкий В. В., Шеин Ю. Л. Влияние горизонтальной анизотропии пород на показания зондов БКЗ // Геология и геофизика. 1986. № 5.
16. Вержбицкий В. В., Шеин Ю. Л. Индукционные зонды в скважине эллиптического сечения // Геология и геофизика. 1986. № 5.
17. Влияние кольцевой зоны низкого сопротивления на показания зондов БКЗ и ИК / И. П. Бриченко, В. А. Пантиухин, А. В. Ручкин, Н. Н. Сохранов, Е. В. Чаадаев // Прикладная геофизика. 1990. Вып. 114. С. 78–82.
18. Гайдаш А. Д., Пантиухин В. А., Санто К. Л., Чаадаев Е. В. Индукционный каротаж наклонных анизотропных пластов // Известия СО АН СССР. Геология и геофизика. 1980. № 10.

19. Датнов Е. Л., Пантиюхин В. А., Чаадаев Е. В. Математическое моделирование зонда бокового микрокаротажа // Известия вузов. Геология и разведка. 1989. № 6. С. 112–117.
20. Датнов Е. Л., Чаадаев Е. В. Решение прямой задачи для микрозондов в радиально-неоднородной среде // Известия вузов. Геология и разведка. 1989. № 8.
21. Диева Э. В., Пантиюхин В. А., Фоменко В. Г. Интерпретационные модели для определения водонасыщенности песчано-глинистых пород по данным ГИС (на примере Западной Сибири) // Разведочная геофизика. Обзор ВИЭМС. М., 1988. 50 с.
22. Инструкция по интерпретации диаграмм методов электрического каротажа / Н. Н. Зефиров, В. Т. Чукин, М. Т. Бондаренко, В. А. Пантиюхин и др. М.: Изд-во «Нефтегеофизика» (ротапринт), 1983.
23. Каган Г. Я., Пантиюхин В. А., Рудяк Б. В. Анализ систематической составляющей погрешности измерений аппаратуры индукционного каротажа, обусловленной технологией изготовления зондов // Геофизическая аппаратура. 1990. Вып. 92. С. 76–82.
24. К методике совместной интерпретации данных БКЗ и ИК анизотропных пластов и пластов с радиально-неоднородной зоной проникновения / Е. В. Чаадаев, И. П. Бриченко, К. Л. Санто, Г. Л. Трофименко // В кн. «Разведочная геофизика: теория, методика, результаты». Киев: Наукова думка, 1984. С. 50–65.
25. Кнеллер Л. Е., Пантиюхин В. А., Потапов А. П. Методы решения прямых и обратных задач электрокаротажа. Математические методы и автоматизированные системы в геологии. Обзор ВИЭМС. М., 1989. 53 с.
26. Левченко А. А., Пантиюхин В. А., Чаадаев Е. В. Уточнение параметров электрической анизотропии в коллекторах слоистого строения по данным зонда БК-3 // Нефтяная и газовая промышленность. 1990. Вып. 1.
27. Левченко А. А., Пантиюхин В. А., Чаадаев Е. В. Определение продольных удельных электрических сопротивлений слоистых пластов-коллекторов по данным методов каротажа сопротивлений / В сб. «Новые разработки в технологии геофизических исследований нефтегазоразведочных скважин». Тверь: НПГП «ГЕРС», ВНИГИК, 1992.
28. Максимов С. Н., Чаадаев Е. В. Форма каротажных кривых зондов БКЗ, БК, ИК против переходных зон с нефтенасыщенной частью ограниченной мощности / В сб. «Новые разработки в технологии геофизических исследований нефтегазоразведочных скважин». Тверь: НПГП «ГЕРС», ВНИГИК, 1992. С. 111–119.
29. Максимов С. Н., Чаадаев Е. В., Суходолов В. С. Анализ влияния зоны проникновения на показания зондов БКЗ, БК, ИК в пластах с переменной нефтенасыщенностью / В сб. «Совершенствование технологии интерпретации и петрофизического обеспечения геофизических исследований нефтегазоразведочных скважин». Тверь: НПГП «ГЕРС», ВНИГИК, 1992. С. 30–40.
30. Малинин А. В., Шеин Ю. Л. Анализ качества материалов электрического и индукционного каротажа // Разведочная геофизика. Отеч. произв. опыт. ЭИ ВИЭМС. 1987. Вып. 4. С. 1–5.

31. Методика определения удельного сопротивления пластов по данным аппаратуры БИК-2 при радиально-неоднородной зоне проникновения / Н. Н. Зефиров, Е. В. Чаадаев, Л. И. Павлова, В. А. Пантиухин // Прикладная геофизика. 1986. Вып. 114. С. 144–149.
32. Методические рекомендации по определению электрических параметров градиентных пластов по данным БКЗ, БК, ИК (с набором кривых профилирования данных БКЗ, БК, ИК для типовых ситуаций) / Сост. С. Н. Максимов, Е. В. Чаадаев. Тверь: НПГП «ГЕРС», 1993. 65 с.
33. Методические рекомендации по определению электрических параметров пластов в скважинах с высокоминерализованной промывочной жидкостью (с комплектом палеток) / Сост. И. П. Бриченко, О. Н. Кропотов, Л. И. Павлова, В. А. Пантиухин, О. М. Снежко, Е. В. Чаадаев. Науч. ред. А. В. Ручкин. Тверь: МинГео СССР, НПО «Союзпромгеофизика», 1991. 78 с.
34. Методические указания по комплексной интерпретации данных БКЗ, БК, ИК (с комплектом палеток) / Сост. Е. В. Чаадаев, И. П. Бриченко, А. А. Левченко, А. А. Малинин, В. А. Пантиухин. Калинин: НПО «Союзпромгеофизика», 1990.
35. Некоторые особенности интерпретации данных БКЗ в условиях высокоминерализованных промывочных жидкостей / О. Н. Кропотов, И. П. Бриченко, Л. И. Павлова, Е. В. Чаадаев // Геология нефти и газа. 1981. № 8. С. 55–60.
36. О влиянии азимутальной неоднородности зоны проникновения на показания электрических зондов / В. В. Вержбицкий, И. П. Бриченко, В. А. Пантиухин, Е. В. Чаадаев, К. Л. Санто // В кн.: «Разведочная геофизика: теория, методика, результаты». Киев: Наукова думка, 1984.
37. О влиянии анизотропии пласта и зоны проникновения на форму кривых БКЗ // Е. В. Чаадаев, В. Н. Румянцев, А. В. Ручкин, К. Л. Санто. РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. «Нефтегазовая геология и геофизика». 1977. Вып. 9. С. 37–41.
38. О влиянии вертикальной неоднородности на показания зондов БКЗ / Е. В. Чаадаев, Г. Л. Трофименко, И. П. Бриченко, К. Л. Санто // Геофизический журнал. Киев: АН УССР. 1980. № 4. Т. II. С. 91–96.
39. О расширении пределов применимости процедуры последовательного введения поправок для зондов БК / О. М. Снежко, Е. В. Чаадаев, А. В. Малинин и др. / В сб. «Совершенствование технологии интерпретации и петрофизического обеспечения геофизических исследований нефтегазоразведочных скважин». Тверь: НПГП «ГЕРС», ВНИГИК, 1992.
40. Оценка качества и корректировка материалов электрического каротажа / И. П. Бриченко, Е. В. Чаадаев, К. Л. Санто, П. Н. Муляр // РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. «Нефтегазовая геология и геофизика». 1980. Вып. 10. С. 29–33.
41. Павлова Л. И., Чаадаев Е. В., Санто К. Л. Реальные многоэлектродные зонды бокового каротажа в анизотропной среде с цилиндрическими границами // Прикладная геофизика. 1980. Вып. 98. С. 202–209.
42. Пантиухин В. А. Эффективная проводимость анизотропных сред с эллипсоидальными включениями // Журнал технической физики. 1986. № 9.

43. Пантиохин В. А., Рудяк Б. В. Тест-характеристика двухкатушечного зонда индукционного каротажа с ферритовыми сердечниками // Известия вузов. Геология и разведка. 1989. № 3. С. 118–120.
44. Пантиохин В. А., Чаадаев Е. В., Санто К. Л. Расчет допустимых отклонений параметров зондов индукционного каротажа // Геофизическая аппаратура. 1980. Вып. 71.
45. Пантиохин В. А., Чаадаев Е. В., Юматова Т. Г. Эквивалентность при индукционном каротаже наклонных анизотропных пластов // Известия вузов. Геология и разведка. 1986. № 2.
46. Пантиохин В. А., Шеин Ю. Л. Надежность определения УЭС пластов и возможности ее повышения / В сб. «Совершенствование технологии интерпретации и петрофизического обеспечения геофизических исследований нефтегазоразведочных скважин». Тверь: ВНИГИК, 1987.
47. Пантиохин В. А., Шеин Ю. Л., Кузьмичев О. Б. Алгоритмы моделирования показаний зондов БКЗ, БК, ИК в пластах с зоной проникновения / В сб. «Автоматизированная обработка данных геофизических и геолого-технологических исследований нефтегазоразведочных скважин и подсчет запасов нефти и газа с применением ЭВМ». Калинин: НПО «Союзпромгеофизика», 1989. С. 75–80.
48. Повышение информативности метода потенциалов самопроизвольной поляризации при измерении производных естественного электрического поля / Г. Ф. Борисенко, О. Б. Кузьмичев, Б. В. Рудяк, Е. В. Чаадаев // Известия вузов. Геология и разведка. 1993. № 1. С. 138–142.
49. Способ совместной интерпретации БКЗ с данными других электрических методов / И. П. Бриченко, Г. Л. Трофименко, Е. В. Чаадаев, К. Л. Санто // РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. «Нефтегазовая геология и геофизика». 1979. Вып. 4. С. 35–37.
50. Структура комплексных палеток для интерпретации данных БКЗ, БК, ИК в пластах ограниченной мощности с зоной проникновения / И. П. Бриченко, А. В. Малинин, В. А. Пантиохин, Е. В. Чаадаев // В сб. «Совершенствование методов, аппаратуры и технологии геофизических исследований, испытания и контроля нефтегазоразведочных скважин». НПО «Союзпромгеофизика». М.: Недра, 1987.
51. Чаадаев Е. В., Бриченко И. П., Санто К. Л. Определение электрических параметров проницаемых пластов малой мощности // РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. «Нефтегазовая геология и геофизика». 1980. Вып. 9. С. 19–24.
52. Чаадаев Е. В., Павлова Л. И. Пятиэлектродный зонд псевдобокового каротажа в анизотропной среде с цилиндрическими границами раздела // Геофизическая аппаратура. 1980. Вып. 70.
53. Чаадаев Е. В., Павлова Л. И. К теории кольцевых зондов в анизотропной цилиндрически-слоистой среде // Известия вузов. Геология и разведка. 1980. Вып. 10.
54. Чаадаев Е. В., Павлова Л. И., Санто К. Л. Решение прямой задачи для зондов БКЗ с реальными размерами электродов // Прикладная геофизика. 1980. Вып. 97. С. 209–215.

55. Чадаев Е. В., Санто К. Л., Зефиров Н. Н. Влияние неоднородной по удельному сопротивлению зоны проникновения на данные электрического каротажа // Прикладная геофизика. 1982. Вып. 102. С. 174–189.
56. Чадаев Е. В., Соколова Л. А., Санто К. Л. Микрозонды электрического каротажа с плоским полем в среде с цилиндрическими границами // Геофизическая аппаратура. 1986. № 86. С. 84–89.
57. Шеин Ю. Л., Рудяк Б. В. Оценка достоверности определения электрических параметров пластов-коллекторов // Известия вузов. Геология и разведка. 1989. № 10. С. 105–110.