

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

В статье рассматриваются два методических приема интерпретации электромагнитных зондирований в модификации зондирования становления поля в ближней зоне. Первый прием интерпретации: классический с использованием визуального анализа кривой зондирования становления поля, расчета удельной электропроводности, анализа карт и разрезов удельной электропроводности. Второй прием интерпретации основан на использовании метода главных компонент примененного к данным электромагнитного зондирования. Рассмотрены информативность, достоинства и недостатки каждого метода.

Ключевые слова: зондирование становлением в ближней зоне, электропроводность, продольная проводимость, метод главных компонент, факторы, факторные нагрузки.

Введение

Сведений о геоэлектрическом разрезе являются важнейшими при решении поисково-разведочных задач с целью прогнозирования антиклинальных структур благоприятных для нефтегазоаккумуляции, а также выявления ловушек неструктурного типа, связанных с рифами, песчаными линзами, зонами выклинивания и т.д. Это обусловлено широким диапазоном изменения электрических свойств пород слагающих разрез, резкой дифференциацией по удельному электрическому сопротивлению залежей углеводородов и вмещающих пород, и геологических факторов влияющих на значение сопротивления, таких как минерализация пластовых вод, температура, давление (Каримов и др., 2003, 2005; Яковлев, 1988).

Особое место при прогнозировании углеводородов занимает электромагнитное зондирование в модификации зондирования становления поля в ближней зоне (ЗСБЗ). В настоящее время метод применяется при изучении осадочного чехла как древних (Восточно-Европейская, Сибирская), так и молодых (Скифско-Туранская) плит. Метод ЗСБЗ хорошо зарекомендовал себя как один из методов нефтегазовой геофизики, целью которой является непосредственное обнаружение залежей углеводородов, оценка их размеров и условий залегания. Выбор методических приемов интерпретации является важнейшей составляющей успеха применимости метода для решения перечисленных задач (Киселев и др., 2007).

Общая характеристика методик интерпретации данных зондирования становления поля в ближней зоне. Метод ЗСБЗ основан на изучении неустановившегося поля, обусловленного возбуждением второго рода, или процессом становления поля. Наблюдения выполняются после выключения тока вблизи источника. Время, прошедшее с момента выключения тока в генераторной установке, и возникновением вторичного поля называется временем становления поля. При этом измеряемый в приемной установке сигнал спадает до нуля, изменяясь сложным образом (Корольков, 1987; Яковлев, Корольков, 1988; Матвеев, 1990; Сидоров, Тикшаев, 1969; Якубовский, 1991).

Зависимость сигнала в точке наблюдения от времени становления называется кривой становления поля. Пове-

дение этого поля определяется суммарной продольной проводимостью разреза. Результатом этого процесса является отслеживание изменения параметров разреза (продольной проводимости) от верхних горизонтов до обобщенных характеристик всего разреза.

Обработка данных ЗСБЗ заключается в пересчете полученных на различных временах задержки значений ЭДС кажущуюся продольную проводимость разреза $St(H_z)$. Кажущуюся продольная проводимость $St(H_z)$ отражает суммарную продольную проводимость разреза до глубины H_z (Рис. 1) (Сидоров, Тикшаев, 1969; Хмелевской, 1997).

В практике интерпретации геофизических методов применяются как минимум два подхода: детерминированный и вероятностно-статистический.

Детерминированный подход интерпретации электромагнитных зондирований является основным способом. Это классический метод подбора, который заключается в последовательном изменении геоэлектрической модели разреза и расчете прямой задачи для нее до тех пор, пока экспериментальная и теоретическая кривые не совпадут с требуемой точностью. При этом стараются удовлетворить двум условиям: достижения минимума невязки полевой и теоретической кривых и близости модели к априорным данным о разрезе (Хмелевской, 1997).

Вероятностно-статистический подход базируется на применении методов многомерной статистики. Поскольку электромагнитное поле, отражающее геологическую среду, есть результат сложения совокупностей электрических свойств пород, их неоднородность, пространственное расположение геоэлектрических объектов и других причин, то значение электромагнитного поля, следует рассматривать как сумму систематических, закономерных и случайных составляющих, обусловленных действием предполагаемых процессов и некоторых случайных причин.

Классическая интерпретация данных электромагнитных зондирований в модификации становления поля в ближней зоне. Сидоров В.А и Тикшаев В.В. (1969) предложили подход, который базируется на рассмотрении результатов электромагнитных зондирований в виде графика (кривой) функции $St \sim f(H)$. Кривая $St(H_z)$ наглядно отражающая изменение функции St . Визуальный анализ функции

– кривой $S_{\tau}(H)$ позволяет отождествлять с реальными геоэлектрическими комплексами. Качественный анализ углов наклона кривых S_{τ} позволяет выделить проводящие горизонты, которые привязываются к реальным литолого-стратиграфическим комплексам путем сопоставления петрофизических свойств разреза, полученных при интерпретации материалов геофизических исследований скважин Sk, с результатами обработанных электромагнитных данных. Реализация такого подхода позволяет типизировать кривые S_{τ} , разработать универсальную модель разреза, определить характерные «точки перегиба» кривых для конкретного изучаемого региона.

В рассмотренном приеме интерпретации предлагается после традиционной обработки данных ЗСБЗ – значения суммарной продольной проводимости S_{τ} аппроксимировать сплайн-функцией 1-3й степени с целью получения значения S_{τ} и H_{τ} с равномерным шагом дискретизации (10м) и устранения флуктуаций поля, обусловленных помехами и другими причинами. Последующая процедура дифференцирования $dS_{\tau}/d(H_{\tau})$ позволяет определить значения удельной кажущейся электропроводности $\Delta\sigma$ (Рис. 2) и корректно выделить проводящие и высокоомные комплексы. Полученные, таким образом, кривые $\Delta\sigma$ отражают изменения электропроводности по разрезу.

Более наглядное представление о характере геоэлектрического разреза дают послойный карты- срезы или геоэлектрические разрезы (Рис. 3). В рассмотренном примере разреза осадочного чехла северо-восточной части Мелекесской впадины локальные увеличения $\Delta\sigma$ это отложения московского яруса среднего карбона, ниже-средне-визейского подъяруса нижнего карбона, нижефранского подъяруса верхнего девона (Геология Татарстана, 2003; Хамидуллина, Хасанов, 2009). Перечисленные геоэлект-

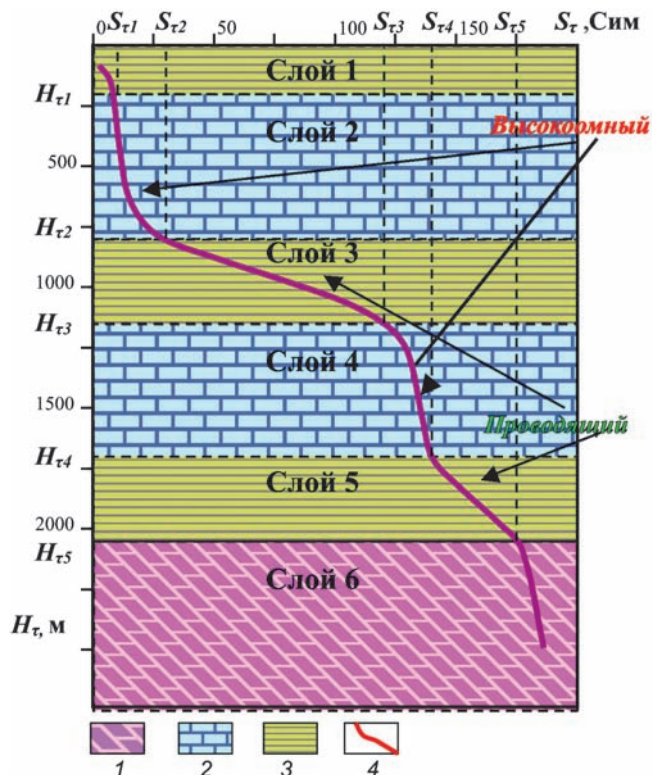


Рис. 1. Модель горизонтально-слоистой среды и кривая $S_{\tau}(H)$: 1 – породы кристаллического фундамента; 2 – карбонатные породы; 3 – терригенные породы; 4 – кривая $S_{\tau}(H)$.

рические комплексы прослеживаются на кривой $\Delta\sigma$ в виде локальных максимумов, а в разрезе повышенными аномалиями электропроводности (сине-зеленый цвет). Локальное уменьшение $\Delta\sigma$ характеризует комплексы повышенного сопротивления. Это комплексы: объединенных отложения башкирского, серпуховского ярусов среднего карбона и верхне-визейского подъяруса нижнего карбона; и объединенных отложений турнейского яруса нижнего карбона, фаменского яруса и верхне-среднефранского подъяруса верхнего девона. В геоэлектрическом разрезе указанные комплексы выделяются пониженными значениями проводимости (красно-желтый цвет). Кроме перечисленных комплексов на кривой $\Delta\sigma$ могут наблюдаться другие локальные максимумы и минимумы, отражающие небольшие проводящие зоны разреза, которые плохо прослеживаются на исходной кривой S_{τ} . Наоборот, небольшие локальные минимумы в районе ЗСБЗ № 4 и 6 характеризуют рифогенные постройки в отложениях турнейско-фаменско-верхне-среднефранского комплекса.

В рассматриваемом примере основными продуктивными и перспективными пластами являются отложения каменноугольной системы. При этом месторождение является много пластовым, имеющее сложное геологическое строение с залежами в терригенных и карбонатных коллекторах.

Пласты-коллекторы турнейского яруса сложены переслаиванием пористо-проницаемых и уплотненных прослоев известняков доломитизированных, до перехода в доломиты. При этом следует ожидать, что указанные пласты-коллекторы в электромагнитном поле будут характеризоваться пониженными значениями удельной электропроводности. Покрышкой для залежей турнейского яруса служат низкоомные непроницаемые глинистые породы нижевизейского возраста. Такой же эффект следует ожидать и от пластов коллекторов башкирского яруса, сложенного прослоями пористо-проницаемых органогенных известняков и доломитов различной толщины, чередующихся с прослоями уплотненных известняков и доломитов, часто трещиноватых и глинистых. Последнее обстоятельство усложняет эффект на электромагнитное поле от резервуаров башкирского возраста. Примером описанных критериев служит разрез удельной электропроводности в райо-

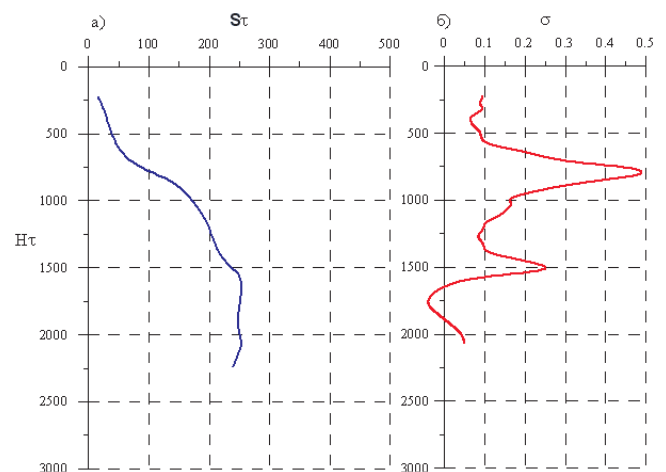


Рис. 2. Графики зондирования становления поля в ближней зоне а) кажущаяся продольная проводимость; б) удельная электропроводность.

не точек ЗСБЗ № 6 и №7, где выявлен продуктивный объект.

Пласты-коллекторы средневизейского подъяруса сложены кварцевыми песчаниками, прослоями переходящими в алевролиты. Наличие углеводородов существенно увеличивает удельное сопротивление. Обводненность пласта характеризуется увеличением проводимости.

Таким образом, предложенный первый прием интерпретации рассмотрения изменения удельной электропроводности по глубине и латерали имеет достоинства при прогнозе углеводородов, выявление залежей с учетом рассмотрения всего геоэлектрического разреза. Недостатками являются трудоемкость, избыточная информативность, субъективность выделения комплексов при визуальном анализе кривых ЗСБЗ.

Применение метода главных компонент при интерпретации данных электромагнитных зондирований. Второй прием интерпретации данных электромагнитного зондирования использует многомерный статистический анализ (метод главных компонент). В основе метода лежит предположение о том, что если переменные величины возможно коррелируемы, то это свидетельствует о существовании «внутренних» параметров (факторов), являющихся причинами такой корреляции, но непосредственно не регистрирующихся (Иберла, 1980). Метод главных компонент позволяет уменьшить размерность данных, практически не потеряв информации. Для проведения преобразования методом главных компонент St представляются в виде матрицы $A(N \times M)$, где N – количество дискретных значений, M – количество точек ЗСБЗ.

Для корректного использования метода главных компонент к данным ЗСБЗ, выделенные локальные максимумы удельной электропроводности приводятся к единым глубинным отметкам по эталонной параметрической кри-

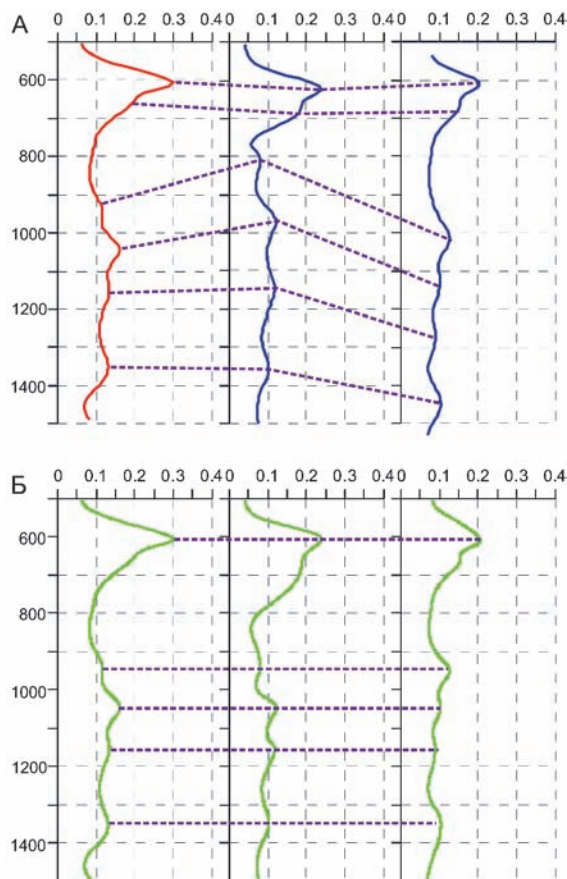


Рис. 4. Приведение локальных максимумов удельной электропроводности к единой глубине: А) расположение максимумов до приведения; Б) после приведения.

вой (Рис. 4).

Рассмотрим пример использования метода главных

компонент к данным зондирования становления поле полученных на площади исследования, расположенной на северо-восточном склоне Южного купола Татарского свода Волжско-Камской антиклизы. Нефтенасыщенными породами на данной территории являются трещиноватые коллекторы средне-франского подъяруса верхнего девона.

В рассматриваемом примере в качестве эталонной кривой выбран пункт наблюдения ЗСБЗ № 20, расположенный близ скважины №2. Для корректной интерпретации проведен анализ геоэлектрических характеристик геологического разреза скважины и данных электрокаротажа и предложена модель субгоризонтально-переслаивающихся проводящих и высокоомных комплексов (Рис. 5).

Анализируя данные ЗСБЗ и электрокаротажа, можно прийти к выводу, что наиболее достоверная информация о геоэлектрическом разрезе получена с кажущихся глубин 500 – 550 м, где искажающее влияние верхней части разреза минимально, и до кажущихся глубин 1400 м, где кривая St (H) практически

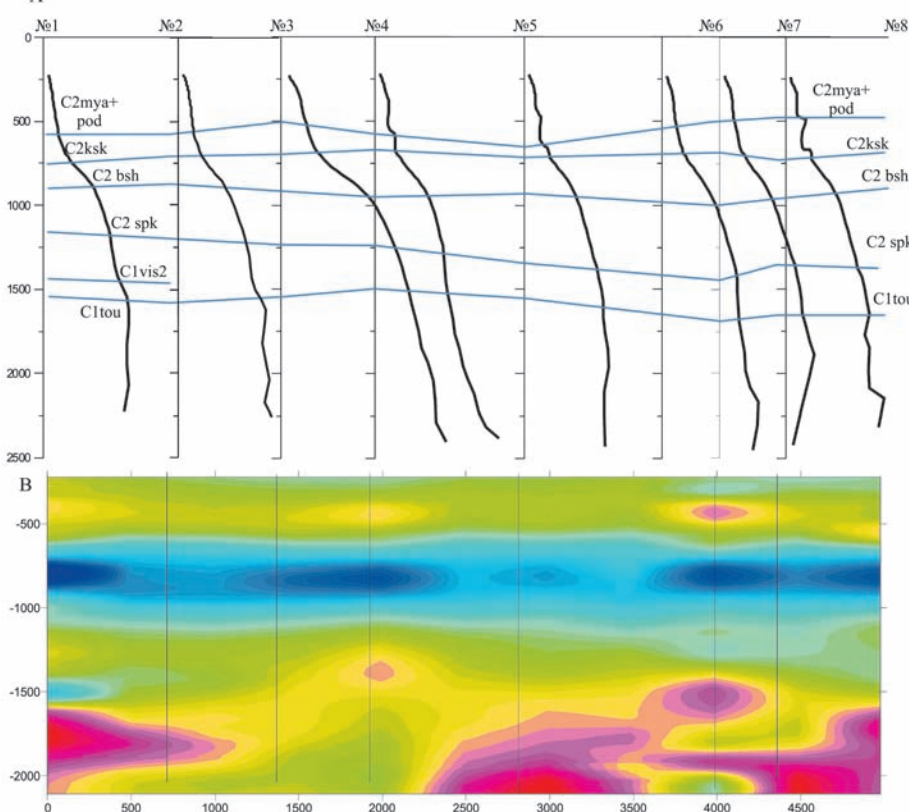


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю, проходящему по северо-восточному борту Мелекесской впадины Волжско-Камской антиклизы.

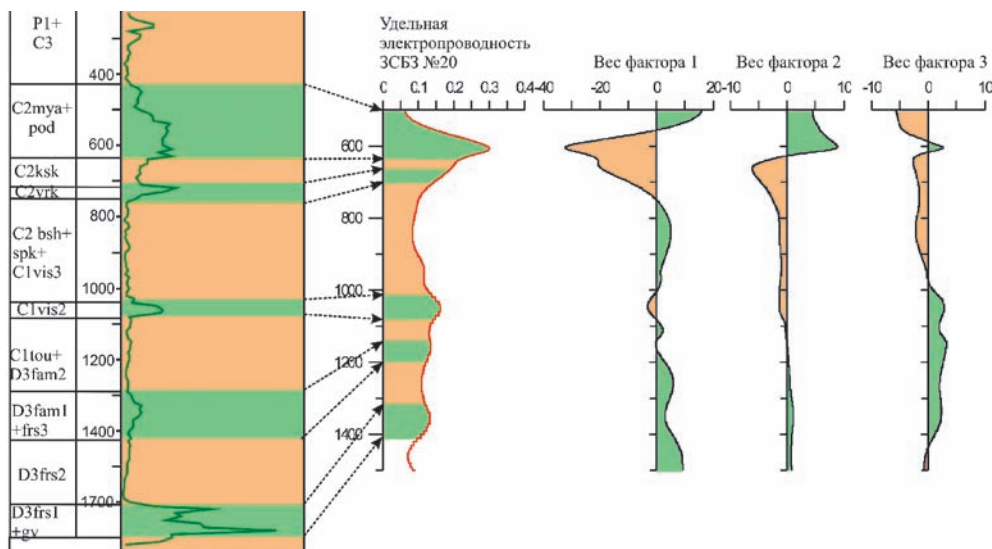


Рис. 5. Анализ геоэлектрического разреза и данных электрокаротажа с последующим пересчетом в удельную и суммарную электропроводность и выделения в разрезе скважины проводящих и высокоомных комплексов.

ки выходит на асимптоту (Рис. 6). Кажущиеся глубины отвечают реальным глубинам от 400 до 1800м. Такое расхождение по глубинам обусловлено сложным специфическим свойством распространения электромагнитных волн в геологической среде и несовершенным детерминированным преобразованием измеренного сигнала электродвижущей силы в кажущиеся глубины и кажущиеся электропроводности. Тем не менее, на основе визуального анализа удается идентифицировать локальные максимумы и минимумы удельной электропроводности с реальными геоэлектрическими комплексами.

Преобразованные и приведенные данные представляются в виде матрицы А исходных признаков, в которой

строках представлены изменяющиеся с глубиной $\Delta\sigma$, а в столбцах пункты наблюдения ЗСБЗ (в количестве 106 в рассматриваемом примере).

После преобразования матрицы А веса факторов распределились следующим образом: 1 фактор – 79,57%, 2 фактор – 7,56%, 3 фактор – 4,89 %. Таким образом, общий вес трех главных компонент составляет 92,02 %, что говорит о высокой корреляции между исходными признаками.

При этом наблюдаются следующие закономерности распределения весовых нагрузок факторов (Рис. 7):

- график распределения веса первой компоненты фактически повторяет изменение электропроводности по разрезу, но с обратным знаком. При этом наблюдаются отрицательные значения веса главных компонент в зонах проводящих толщ московского яруса и средневизейского подъяруса;

- график распределения веса второй компоненты делит разрез на три комплекса. Область положительного знака в верхней и нижней части разреза, отвечающие мячковско-подольскому комплексу московского яруса, что соответствует геоэлектрической модели, и турнейско-франскому комплексу, который рассматривается в модели как высокоомная пласты. Вероятнее всего, на площади исследования есть области, где в турнейско-франском комплексе встречаются трещинные зоны-коллекторы. Область от-

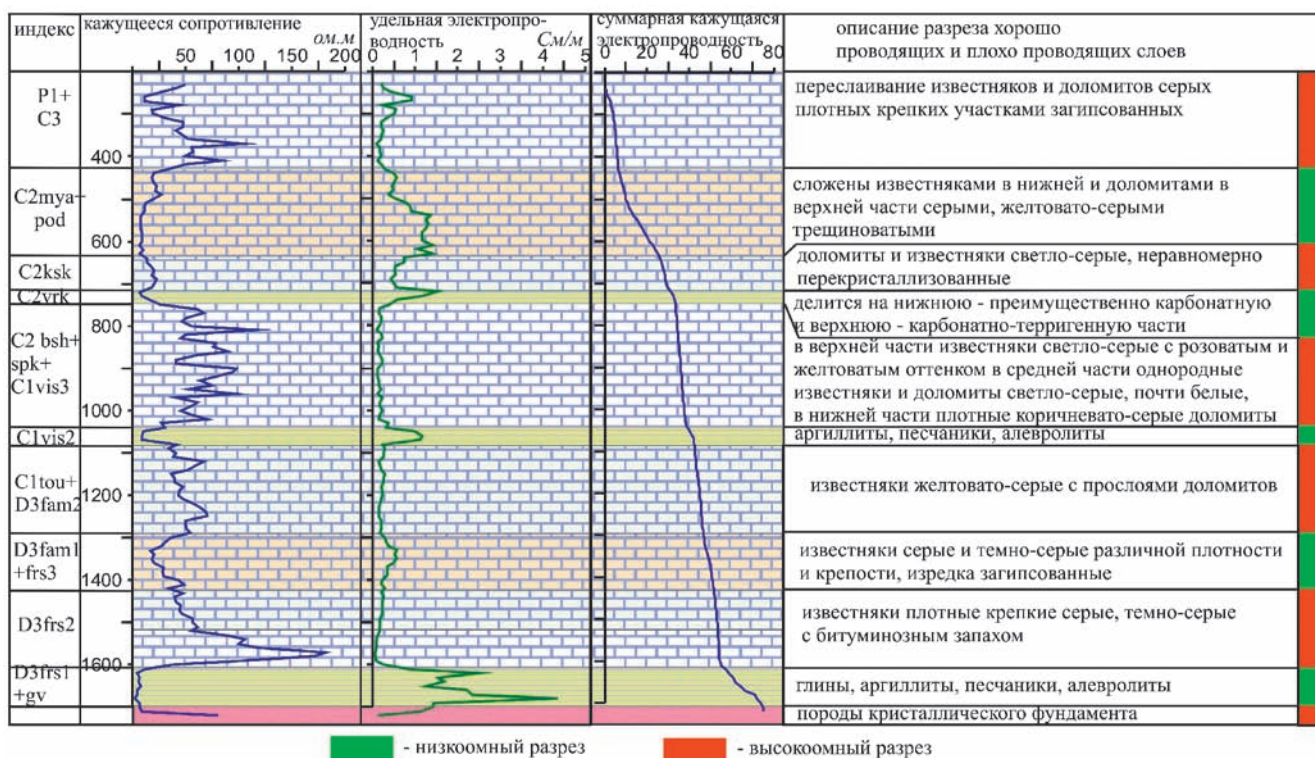


Рис. 6. Сопоставление геоэлектрического разреза, данных геофизических исследования скважины №2 с данными ЗСБЗ №20 и весами факторов.

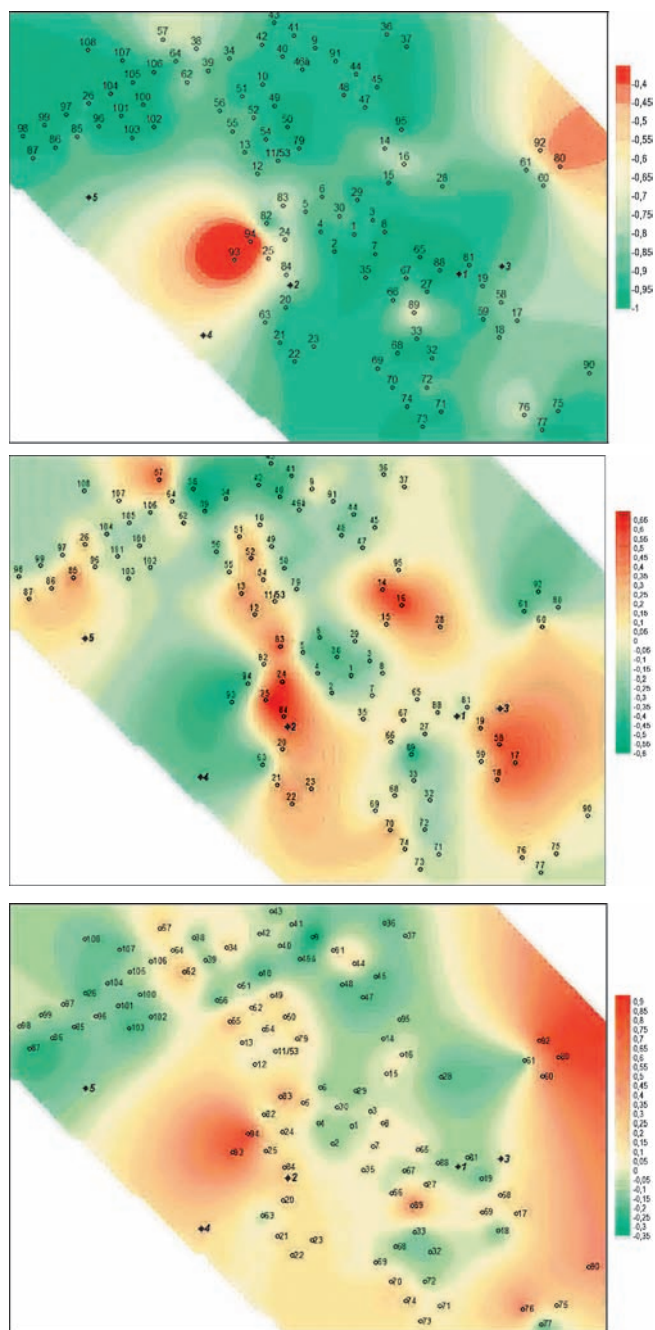


Рис. 7. Карты распределения компонент: а) Первая компонента; б) Вторая компонента; в) Третья компонента.

рицательного знака отвечает каширско-средневизейскому комплексу. В целом комплекс отвечает принятой высокоомной модели, за исключением отложений верейской терригенно-карбонатной толщи, где можно спрогнозировать наличие преобладание карбонатного материала или флюидонасыщенного коллектора (не подтверждено данными бурения);

– график распределения веса третьей компоненты имеет сложное строение. Положительные значения наблюдаются в верхней и нижней частях графика, отвечающие отложениям в нижней части подольского комплекса и средне-визейско-девонскому комплексу. Таким образом, можно предположить наличие в данном типе разреза наличие сильно-трещиноватых карбонатных пород в нижней части подольских отложений и в карбонатных отложениях турнея и верхнего девона. Отрицательные значения веса компо-

ненты наблюдаются в мячковско-верхнеподольском комплексе и каширско-верхневизейском комплексе. Мячковско-верхне-подольский комплекс в модели характеризуется как проводящий комплекс. Таким образом, можно предположить наличие плотных карбонатных пород в данном типе разреза. Каширско-верхневизейский комплекс, за исключением верейской пачки охарактеризован как высокоомный комплекс и не противоречит принятой модели.

Таким образом, по распределению весов компонент выделяются три типа разреза на рассматриваемой территории. Поскольку по данным матрицы А изучалось преобразование между объектами, то веса главных компонент характеризуют удельную электропроводность в целом по разрезу, а карта распределения компонент позволяет оценить наличие того или иного типа разреза по площади (Рис. 7).

На карте распределения первой компоненты видно, что все пункты наблюдения ЗСБЗ расположены в отрицательной области. Учитывая, что компонента повторяет эталонную кривую с точность до наоборот, можно предположить, что практически на всех пунктах наблюдения геоэлектрический разрез аналогичен принятой геоэлектрической модели за исключением области на крайнем северо-востоке и в центрально-западной области.

Второй тип кривых ЗСБЗ распространён по площади фрагментарно в областях положительного знака. Таким образом, можно предположить наличие областей развития трещинных зон-коллекторов в турнейско-франском комплексе. В районе скважин 1 и 3 карбонатные средне-франские отложения нефтенасыщены. В скв.1 дебит составляет 8,9 т/сут.

Третий тип кривых ЗСБЗ распространён так же фрагментарно в центральной и восточной части площади.

Таким образом, графики весовых нагрузок главных компонент наиболее удобно идентифицировать с изменением $\Delta\sigma$ по разрезу в целом и выделения типов геологического разреза. Карты распределения компонент распространения указанных типов разреза. Для полной идентификации геоэлектрического разреза необходимо рассматривать в комплексе все компоненты.

Достоинством предложенного метода является быстрый экспресс анализ по типам геоэлектрического разреза, без утомительного рассмотрения каждой кривой ЗСБЗ и перечисления ее к какому-либо типу.

Недостатком является некоторая неоднозначность и противоречивость определения в плане комплексов проводящих и высокоомных пластов. Устранение этой неоднозначности решается при помощи комплексного рассмотрения распределения всех компонент, а также привлечение как априорных геологических данных так и данных интерпретации рассмотренной выше первой методики.

Выводы

Рассмотренные приемы интерпретации и полученные результаты позволяют еще раз по достоинству оценить метод зондирования становления поля в ближней зоне, как многогранного и информативного метода, направленного на решение многих задач нефтяной геологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект №2010-218-01-192).

НАПРАВЛЕННАЯ КИСЛОТНАЯ ОБРАБОТКА ВЫСОКООБВОДНЕННЫХ ПЛАСТОВ

Приводятся результаты лабораторных и опытно-промышленных работ, направленные на усовершенствование кислотной обработки высокообводненных пластов.

Ключевые слова: призабойная зона, кислотная обработка, продуктивность, проницаемость, поверхностно-активное вещество, эмульсия.

В ОАО «НИИнефтепромхим» в течение ряда лет проводятся работы по созданию технологий увеличения нефтеизвлечения из неоднородных высокообводненных пластов на основе химических реагентов – углеводородных композиций поверхностно-активных веществ (УК ПАВ).

Как правило, кислотные обработки при обводненности продукции выше 40–60 % неэффективны. В отличие от других кислотных методов, разработанная технология направленной кислотной обработки высокообводненных

пластов (НКОВП) предназначена для увеличения продуктивности скважин, вскрывающих как карбонатные, так и терригенные пласты с температурой 15–55 °С и различной минерализацией попутно-извлекаемых вод и обводненностью продукции более 80%.

Метод основан на увеличении эффективности кислотных обработок путем блокировки высокопроницаемой обводненной части пласта. Блокировка зон с повышенной проницаемостью осуществляется с помощью вязких «ге-

Окончание статьи Г.С. Хамидуллиной, Д.К. Нургалеева, Д.И. Хасанова «Особенности интерпретации данных электромагнитных зондирований...»

Литература

Геология Татарстана: Стратиграфия и тектоника. М.:ГЕОС, 2003. 402.

Иберла К. Факторный анализ. М. Статистика, 1980, 398.

Каримов К.М., Валеев С.Г., Еронова Е.В., Буткус Е.М. Оценка нефтеперспективности структур в Мелекесской впадине по электромагнитным зондированиям. *Георесурсы*. 2005 №2(17). 41–45.

Каримов К.М., Шабалин Н.Я., Балахнина и др. Геоэлектрическая модель земной коры Татарстана по данным электромагнитных зондирований. М: ЕАГО, *Геофизика*, 2003. 42–46.

Киселев Е.С., Ларионов Е.И., Сафонов А.С. Электрические свойства нефтегазоносных разрезов. Поисковые признаки залежей углеводородов в методах высококорреляционной электроразведки. М.: Научный мир, 2007. 167.

Корольков Ю.С. Зондирование становлением электромагнитного поля для поисков нефти и газа. М.: Недра, 1987. 116.

Кукуруза В.Д., Смольников Б.М. Геоэлектрические исследования при поисках залежей нефти и газа. Киев: Наукова Думка. 1984. 140.

Матвеев Б.К. Электроразведка: Учеб. Для вузов-2 изд., перераб. и доп.-М.: Недра, 1990. 368.

Сидоров В.А., Тикшаев В.В. Электроразведка зондированиями становлением поля в ближней зоне. Саратов. 1969. 58.

Хамидуллина Г.С., Хасанов Д.И. Некоторые методические приемы обработки данных электроразведочных зондирований становления поля в ближней зоне с целью выявления углеводородов. *Нефть. Газ. Новации*. 2009. №9. 57–60.

Хмельской В.К. Геофизические методы земной коры. Кн.1. Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 1997. 184.

Яковлев А.П., Корольков Ю.С. Эффективность электроразведочных методов при поисках нефти и газа. *Разведочная геофизика*. М., 1988. 42.

Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка. М.: Недра, 1991. 359.

electromagnetic probing interpretation in near-field time-domain electromagnetic sounding modification. The first interpretation method is classic with transient response curve visual analysis, specific conductivity calculation, maps and section of specific conductivity analysis usage. The second technique of interpretation is based on usage of the main components method applied to electromagnetic probing data. Informational content, advantages and disadvantages of each method are reviewed.

Key words: near-field time-domain electromagnetic sounding, conductivity, longitudinal conductivity, pmain components method, factorial loadings.

Галина Сулеймановна Хамидуллина

Старший преподаватель кафедры геофизики. Научные интересы: комплексирование геофизических методов, гравиразведка, электроразведка, сиквенс-стратиграфия.

Данис Карлович Нургалеев

Д. геол.-мин. н., проректор по научной деятельности, директор Института геологии и нефтегазовых технологий, заведующий кафедрой геофизики и геоинформационных технологий. Научные интересы: комплексные технологии прогнозирования и поиска залежей нефти и газа (геоинформатика, геофизика, геотектоника, геохимия, геоморфология, космические методы). Палеогеофизические исследования отложений современных озер (палеомагнетизм, палеоклимат, палеобиология).

Дамир Ирекович Хасанов

К. геол.-мин. н., доцент кафедры геофизики. Научные интересы: комплексирование геофизических методов, магниторазведка, электроразведка, палеомагнетизм.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий. 420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, д.4/5. Тел.: (843)233-74-75.

G.S. Khamidullina, D.K. Nourgaliev, D.I.Khasanov. **Peculiarities of the electromagnetic probing data interpretation in the search of hydrocarbon accumulations.**

The article discusses two methodological techniques of the