

Анализ возможностей стандартного комплекса электрометрии для решения актуальных задач геофизического исследования скважин

© Н. Л. Миронцов, 2012

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 22 июня 2011 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Розглянуто особливості геофізичного дослідження свердловин в умовах складнопобудованих колекторів — анізотропних, залишкового нафтонасичення, "хибних" та аномально низького опору. Показано неефективність відновлення геоелектричних параметрів розрізів, які містять такі об'єкти, за допомогою стандартного комплексу (бокове каротажне зондування, боковий каротаж, індукційний каротаж). Наведено приклади моделювання каротажу подібних розрізів. Оцінено величину необхідної вертикальної роздільної здатності апаратурно-методичного комплексу для дослідження таких об'єктів.

Special features of geophysical investigation for wells with structurally complex, anisotropic, with residual oil-saturated zones, "false" and abnormally low resistance collectors were considered. Ineffectiveness of geo-electric parameters recovery for cross-sections containing such objects through the use of a standard complex (lateral-logging, laterolog survey, induction logging) was demonstrated. Taking logging simulation of such cross-sections as an example, the analysis of special features of their investigation was performed. The required value of vertical resolution capacity of hardware system for investigation of such objects was assessed.

Вступление. В связи с необходимостью интенсификации добычи углеводородов современные геофизические исследования скважин (ГИС) требуют точного определения запасов полезного флюида и возможную скорость его добычи не только для мощных изотропных пластов-коллекторов в вертикальных скважинах, но и для более сложных объектов ГИС. Основываясь на опыте ряда специалистов и накопленном ими экспериментальном материале [Сгурнова та ін., 2005], к таким объектам следует отнести сложно построенные маломощные, анизотропные, "ошибочные", а также коллекторы остаточного нефтенасыщения и аномально низкого сопротивления. Следует отметить, что особенности изучения этих объектов методами электрического и индукционного каротажа теоретически изучены недостаточно. В то же время потенциал флюидосодержания таких коллекторов может быть значительным в условиях Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Акту-

альность такого анализа заключается также в том, что парк аппаратуры каротажа, с помощью которой проводятся ГИС в Украине, состоит из морально устаревшего комплекса бокового каротажного зондирования (БКЗ), зондов трехэлектродного бокового каротажа (БК) и индукционного каротажа (ИК) АИК5. Соответственно возникает вопрос об эффективности применения такого комплекса БКЗ-БК-ИК к этим новым, с точки зрения промышленного использования, объектам и о возможной разработке новых каротажных комплексов, более эффективно решающих актуальные сегодня задачи ГИС.

Данная работа посвящена анализу возможностей стандартного комплекса электрометрии БКЗ-БК-ИК по изучению сложно построенных маломощных, анизотропных, "ошибочных", а также коллекторов остаточного нефтенасыщения и аномально низкого сопротивления.

Сложно построенные маломощные и анизотропные коллекторы. Сложно построенными принято называть пласты неоднородного строения, представленные последовательностью групп коллекторов-пропластков, разного гранулометрического и минерального состава и отсортированности [Сгурнова та ін., 2005]. Изучение таких коллекторов осложняется анизотропией, которая проявляется в различных значениях кажущегося сопротивления (КС), полученных путем измерения зондами вдоль и по нормали к совокупности маломощных пропластков разного удельного электрического сопротивления (у. э. с.). Это явление может быть объяснено особенностью вычисления значения суммарного сопротивления параллельного и последовательного соединений резисторов. Так, при последовательном сопротивлении суммарное сопротивление будет "больше сопротивления любого из входящих в соединение резисторов" и, напротив, при параллельном будет "меньше сопротивления любого из входящих в соединение резисторов". Таким образом, КС, измеренное вдоль пластов, будет более высоким, чем измеренное по нормали к плоскости напластования. При низкой вертикальной разрешающей способности и низкой степени дифференциации исследования вдоль пласта наличие анизотропии вносит значительные трудности в оценку истинного у. э. с. коллектора, в том числе продуктивного. При использовании аппаратуры БКЗ с низким вертикальным разрешением оказывается необходимым объединять такие маломощные пропластки в один анизотропный пласт, который, по данным БКЗ, необходимо классифицировать как двух- или даже трехслойную среду с понижающим проникновением. Кроме этого, таким коллекторам свойственны также экранирующие эффекты, что связано с чередованием в одном пласте прослоек высокого и низкого у. э. с.

Исследуем возможности метода БКЗ для исследования таких сложно построенных анизотропных пластов-коллекторов в терригенных разрезах. Заметим, что ключевым будет не создание метода определения геоэлектрических параметров совокупности пропластков различного у. э. с. как одного объекта (ρ_B — у. э. с. нетронутой части пласта, ρ_Z — у. э. с. зоны проникновения, D/d — отношение диаметра зоны проникновения к номинальному диаметру скважины), а возможность расчленения такого разреза на отдельные пропла-

тки и определение истинных параметров каждого из них, что и позволит эффективно исследовать сложно построенные анизотропные пласты-коллекторы.

Рассмотрим модель разреза, состоящую из последовательности маломощных пластов, соответствующих реальным объектам ДДВ, а также пример действительно анизотропных пластов (у. э. с. — тензор), который имеет важное значение в силу того, что отобранный из скважин керновый материал показывает наличие существенной анизотропии проводимости [Акопян, 1985; Батугин, 1988; Лебедев, Шепель, 2001; Lastovickova, Shepel, 1993; Lebedev et al., 1993; Tuck, Stasey, 1978]. В то же время все существующие и применяемые на практике методы геофизического исследования скважин предполагают *a priori*, что пласты у. э. с. отдельных объектов изотропны [Горбик и др., 1982; Дахнов, 1972; Кнеллер, Сидорчук, 1982; Красножон, 2005; Технология ..., 2000].

На рис. 1 представлены параметры разреза и полученные для этих параметров путем моделирования КС методом БКЗ, БК и ИК (пресный буровой раствор с у. э. с., равным $1,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) при диаметре скважины $0,216 \text{ м}$. Разрез содержит четыре объекта: пачку маломощных (1 м) непроницаемых пластов, пачку маломощных пластов с повышающим проникновением, пачку маломощных пластов с понижающим проникновением и пачку маломощных анизотропных пластов ($\rho_Z^\perp \neq \rho_Z^\parallel$). На рис. 2 представлены кривые БКЗ, БК, ИК для этой же модели разреза, но при условии заполнения скважины соленым раствором ($0,01 \text{ Ом} \cdot \text{м}$).

Очевидно, метод БКЗ для такого тонкослоистого разреза не может дать не только верный количественный, но и качественный результат. Методы БК и ИК хорошо расчленяют разрез (в силу высокого вертикального разрешения), но не позволяют решить две главные задачи: определить параметры ближней зоны ($\rho_Z, D/d$) и наличие анизотропии с последующим вычислением ее параметров ($\rho_Z^\perp, \rho_Z^\parallel$). Действительно, существующая практика интерпретации каротажа предполагает следующее: флюидосодержание и коэффициент нефтегазонасыщения однородного изотропного пласта-коллектора определяются по методу сопротивления. Однако для сложно построенного анизотропного с экранирующими эффектами пласта-коллектора такая методика оказывается неприменимой. Дело в том, что объединение в единую пачку пропластков различного сопротивления и снятие средних значе-

ний КС для построения кривой зондирования всегда предопределяет занижение удельного сопротивления пласта. Это, в свою очередь, приводит к снижению коэффициента нефтегазонасыщенности, а в отдельных случаях к ошибке первого рода (признанию производительного пласта пластом с низким нефтегазонасыщением или с остаточной нефтенасыщенностью, а в результате — бесперспективным).

Во избежание такой ошибки целесообразно использовать и другую последовательность в интерпретации данных каротажа [Стурно-

ва та и н., 2005]. В первую очередь анализируются значения сопротивления, замеренного электрическими методами, такими как микробоковой каротаж, микрозонды, БК. При условии частого чередования в пласте и наличии прослоек, которые в 2—5 раз различаются по сопротивлению, их объединение в один пласт при обработке кривых БКЗ исключается. Обработку в этом случае проводят по однородным, хотя и малой мощности, прослойкам повышенного сопротивления с использованием соответствующих палеток. Для пластов большей мощности и с меньшей неоднороднос-

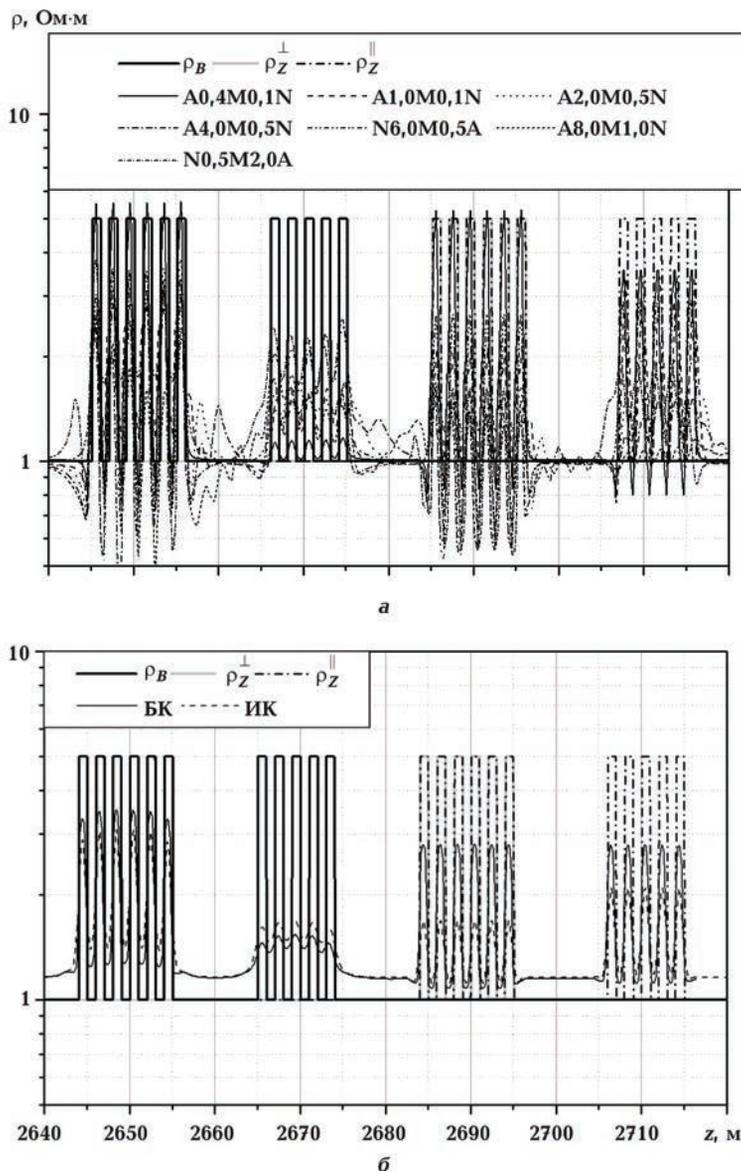


Рис. 1. Кривые БКЗ (а) и БК и ИК (б) для сложно построенных и анизотропных пластов, пересеченных скважиной, заполненной пресным буровым раствором.

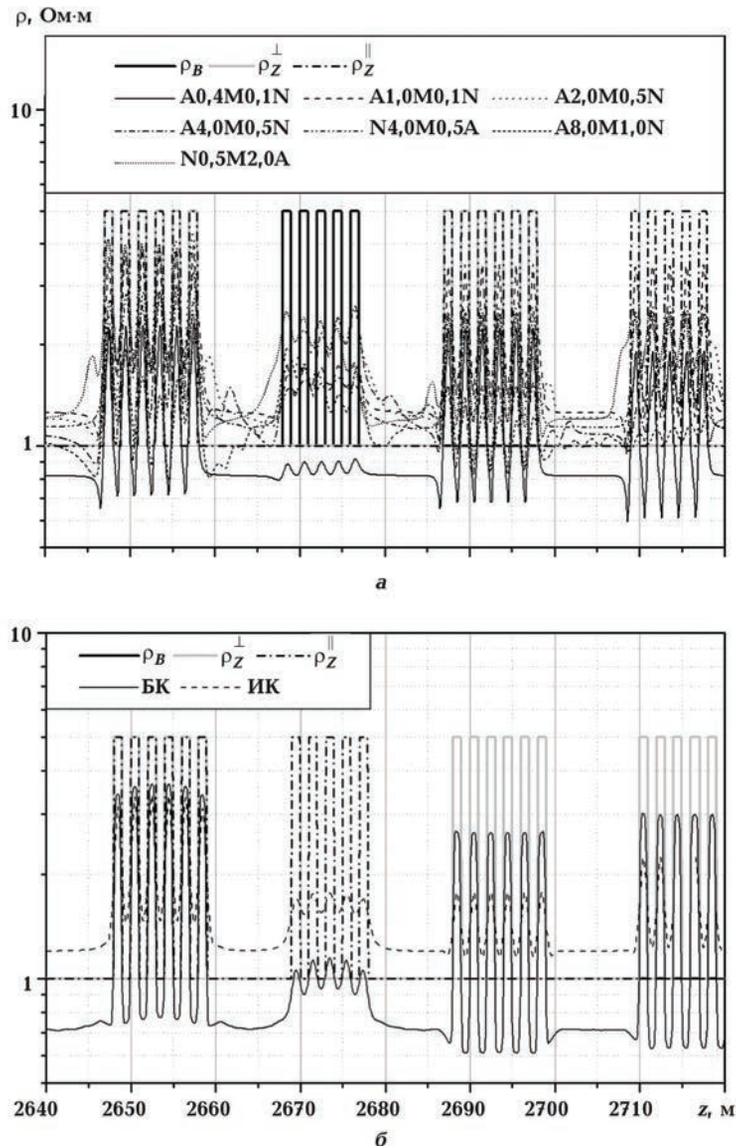


Рис. 2. Кривые БКЗ (а) и БК и ИК (б) для сложно построенных и анизотропных пластов, пересеченных скважиной, заполненной соленым буровым раствором.

тью обработку БКЗ проводят, подбирая уверенно водоносные пласты и те, производительность которых необходимо определить. Обязательное условие — соблюдение аналогичности литологии и максимальное подобие геофизической характеристики на кривых нейтронного гамма-каротажа (НГК), гаммакаротажа (ГК) и акустического каротажа (АК). Обработку проводят с использованием общего комплекта палеток. В случае установления одинаковой по диаметру зоны проникновения для водоносного и перспективного пластов используют данные ИК и подсчитывают коэффициент увеличения сопротивления по

результатам интерпретации БКЗ и ИК. Увеличение сопротивления пласта в 2—3 раза считают достаточным для того, чтобы предположить его перспективность. Информативным также считают анализ кривых потенциала самополяризации (ПС) в комплексе с данными ГК и НГК. Снижение аномалии ПС (если она не искажена влиянием бурового раствора или промышленными препятствиями) для коллекторов с одинаковыми значениями естественной и вызванной гамма-активностью может быть связано с нефтегазонасыщенностью пластов. Не лишними для выяснения характера насыщения анизотропных коллекторов считают

прямые методы исследования — исследование пласта на кабеле (ИПК) и на трубах (ИПТ).

Очевидно, что намного более эффективным было бы использование одного универсального электрометрического метода, который позволил бы исключить из комплекса исследования дорогостоящие и сложные, такие как ГК, НГК, АК, ПС, ИПК, ИПТ и др., а также избежать введения дополнительных допущений о типе флюидонасыщения исследуемых объектов.

“Ошибочные” коллекторы. К “ошибочным” коллекторам относят породы, которые по геофизическим характеристикам имеют все признаки коллектора, но не являются таковыми в действительности [Сгурнова та ин., 2005] — это песчаники и крупнокусочковые породы, если в состав соединяющего их вещества в значительном количестве входит соль. Образование этих “коллекторов” связано с явлениями выщелачивания соли из сцементированного вещества в околоскважинной зоне, что подтверждено керном.

В значительном количестве интервалов девонских отложений (например скв. Монастырищенская-12, интервал 3900—4040 м) встречаются объекты по своим характеристикам близкие к продуктивным, но не являющиеся таковыми. Керн может быть представлен прослойками песчаников и аргиллитов: песчаники по стандартной характеристике выделяются заметно повышенным сопротивлением, диаметр скважины близок к номинальному или меньший (что принято объяснять возникновением глинистой корки и соответственно относить такие объекты к коллекторам), значения НГК относительно невысокие; естественная активность несколько более высока, расчленение кривой гамма-каротажа не совсем соответствует расчленению по литологии. Анализ данных других методов может приводить к аналогичному выводу. Так, микроронды в пресном буровом растворе дают положительное по знаку приращение микропотенциал-зонда над микроградиент-зондом; относительное сопротивление по микробоксовому каротажу (МБК) от 20 до 100 Ом · м, что может свидетельствовать о достаточно высокой гранулярной пористости коллектора. На кривых БКЗ пласты характеризуются понижающим проникновением, удельное сопротивление как по БКЗ, так и по БК составляет 20—150 Ом · м и соответствует производительным пластам с высоким коэффициентом нефтегазонасыщения.

Следовательно, геофизическая характеристика по отдельным методам против этих пород приобретает подобие характеристик производительных коллекторов. В то же время многократная перфорация таких объектов с применением разных перфораторов не дает желаемый результат — прилив полезного флюида не получен [Сгурнова та ин., 2005].

Несмотря на видимое подобие отмеченных пород с производительными, о которых шла речь, они имеют и существенные отличия. На кавернограмме напротив этих пород чаще фиксируется отсутствие глинистой корки, а в некоторых случаях и увеличение диаметра скважины, что объясняется осыпанием стенки скважины в результате образования в процессе бурения зоны выщелачивания; на кривой АК dT наблюдается уменьшение времени пробега упругой волны до уровня неколекторов. При нормализации кривых НГК и АК по пористости наблюдается существенное расхождение значений: по данным НГК пористость значительно более высока, чем по данным АК, что чаще всего характерно для коллекторов с каверно-трещиноватой емкостью, но последним, если они производительны, как правило, соответствуют высокие значения на кривых МБК. Нормализация кривых БК и ИК по сопротивлению этих пород не дает позитивный результат как для производительных терригенных коллекторов, которые являются достаточно убедительным свидетельством отсутствия нефтегазонасыщенности “ошибочных” коллекторов. Невысокие значения сопротивления по МБК напротив этих пород противоречат выводу относительно наличия каверно-трещиноватой емкости, которое устанавливается при нормализации кривых АК и импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИНГК).

Следовательно, это противоречие, а также соответствующая геофизическая характеристика пород по методам НГК, АК, БК, ИК и на кавернограмме допускает наличие осолонения и выщелачивания, которые происходят в прискважинной зоне. Существенной является разница в характеристике этих пород, в сравнении с другими, на диаграммах ИННК: производительные коллекторы выделяются максимальными значениями, а соленые — минимальными.

Таким образом, при использовании стандартного и классического комплексов геофизического исследования скважин для достаточно уверенного отличия осолонившиеся породы от производительных терригенных кол-

лекторов необходимо, во-первых, проведение в скважинах полного комплекса геофизических исследований, в том числе ИННК, во-вторых, комплексирование разных методов, проведение интерпретации с нормализацией по пористости методов НГК и АК и по сопротивлению методов БКЗ, БК и ИК.

Использование совместно с БКЗ-БК-ИК всего комплекса неэффективно по экономическим показателям и значительно затрудняет и усложняет интерпретацию, а в некоторых случаях дает неверный результат, так как другие методы комплекса (АК, ИНГК и т. п.) также обладают погрешностью.

Рассмотрим модель разреза, содержащего "ошибочные" коллекторы (2300—2350 м) и коллекторы остаточного нефтенасыщения (2350—2625 м): на рис. 3 представлены кривые БКЗ, БК, ИК, полученные путем моделирования для такой модели в случае заполнения скважины пресным буровым раствором, на рис. 4 — соленым буровым раствором. Очевидно, что из-за эффекта экранирования комплекс БКЗ не позволяет определять не только параметры ближней зоны пласта (ρ_z , D/d), но и ρ_B . В то же время БК и ИК точно расчленяют данный разрез. Однако, как уже было отмечено, двух значений измерения БК

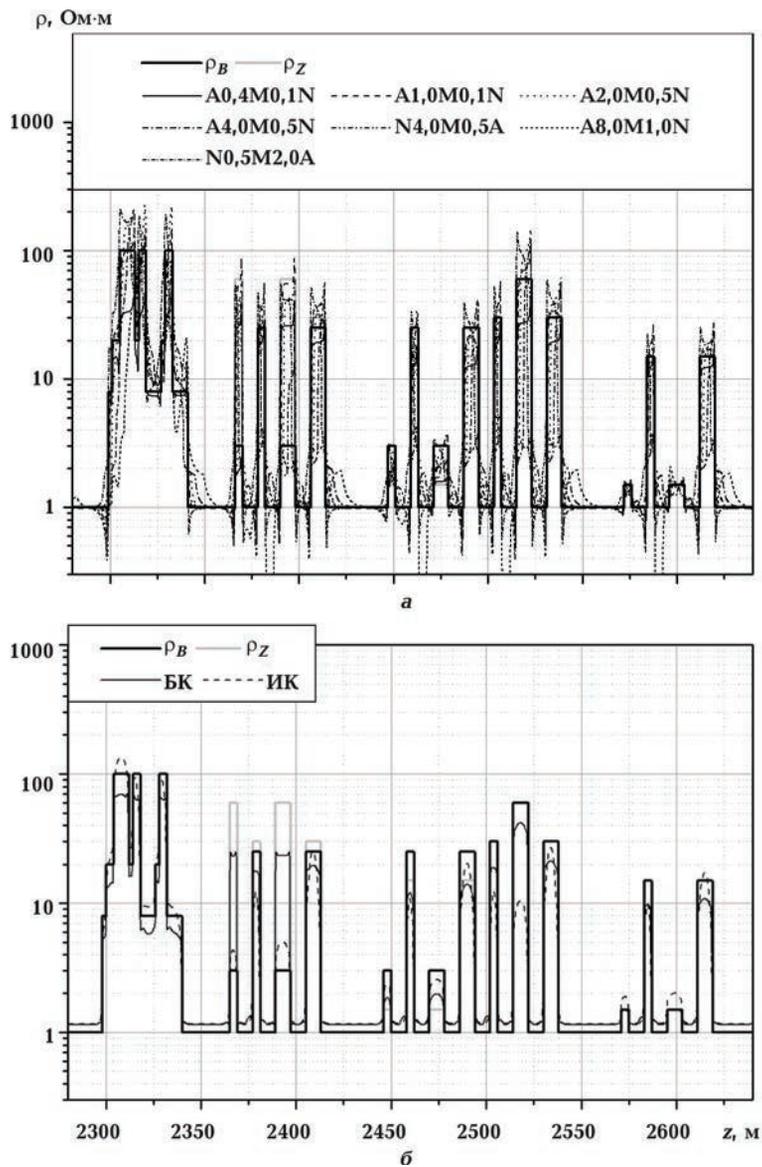


Рис. 3. Кривые БКЗ (а) и БК и ИК (б) для "ошибочных" коллекторов и коллекторов остаточного нефтенасыщения, пересеченных скважиной, заполненной пресным буровым раствором.

и ИК недостаточно для определения трех неизвестных параметров. Таким образом, данные БКЗ становятся необходимыми для интерпретации и вносят в ее окончательный результат неустранимую погрешность.

Коллекторы остаточного нефтенасыщения. Еще одной подобной проблемой при интерпретации является наличие в разрезе так называемых коллекторов остаточного нефтенасыщения. Согласно данным разведки нефтяных месторождений ДДВ, увеличение сопротивления в однородном пласте-коллекторе и количественное определение на этой основе коэффициента возможного нефтенасы-

щения не во всех случаях могут быть достаточными для корректного определения геоэлектрических параметров [Стурнова та ін., 2005]. Дело в том, что часто песчаники, поровое пространство которых на 60 % и больше по расчетам заполнено нефтью, во время испытания могут давать пластовую воду и, наоборот, чистую нефть могут отдавать пласты, водонасыщенность которых достигает 60 %. Эти результаты, как оказалось, определяются не столько количественным содержанием нефти, что, конечно, при определенных условиях имеет большое значение, а другими факторами: физическими свойствами нефти (вязкос-

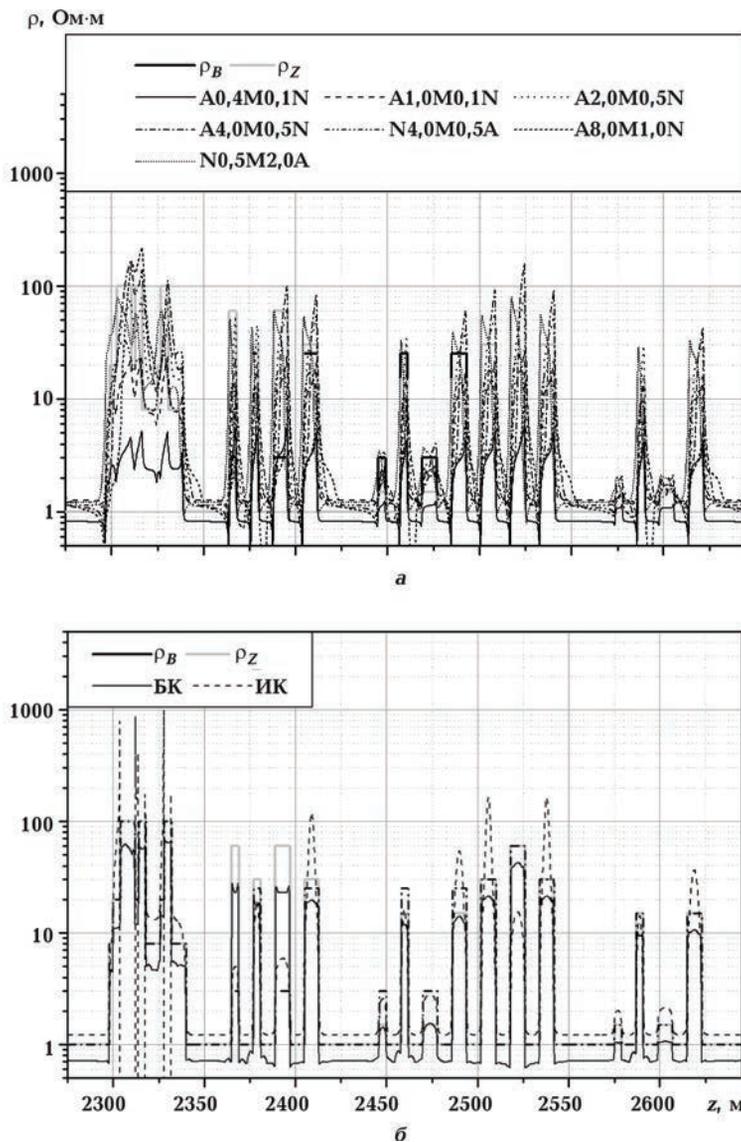


Рис. 4. Кривые БКЗ (а) и БК и ИК (б) для "ошибочных" коллекторов и коллекторов остаточного нефтенасыщения, пересеченных скважиной, заполненной соленым буровым раствором.

тью, фазовой проницаемостью), движущей силой самого пласта (давлением, газовым фактором) и характеристикой коллектора.

Это в значительной мере касается терригенных коллекторов с окончательным нефтенасыщением, промышленную ценность которых изучали на Глинско-Розбышевском, Качановском, Рыбальцевском месторождениях. В настоящее время для решения вопроса относительно промышленной ценности таких пластов используется методика, в основу которой положены результаты интерпретации кривых БКЗ [Сгурнова та ін., 2005]. Ее авторы руководствовались таким исходным положением: если нефть перемещается в глубину пласта под действием промывочной жидкости, то она способна перемещаться по пласту к скважине под воздействием краевых вод, газового фактора, в результате перепада давления, и такой пласт будет отдавать нефть. Наличие или отсутствие подвижной нефти определяется исключительно по анализу кривых БКЗ, которые для производительных горизонтов могут быть как двух-, так и трехслойными. Для трехслойных приподнятых кривых БКЗ удельное сопротивление зоны проникновения фильтра бурового раствора превышает удельное сопротивление пласта не больше чем в 3—5 раз, тогда как для пластов с остаточным нефтенасыщением это превышение больше в 10—20 раз (например, по скв. Качановского нефтяного месторождения удельное сопротивление зоны проникновения пласта с остаточным нефтенасыщением (2375—2390 м) составляет 60 Ом·м, а сопротивление пласта — 3 Ом·м; по скв. 19 сопротивление зоны проникновения его производительного аналога (2369—2386 м) — 25 Ом·м, а сопротивление пласта — 30 Ом·м). Это объяснялось тем, что нефть, которая находится в порах пласта, остается неподвижной, а фильтрация жидкости происходит по той части порового пространства коллектора, в которой остаточная нефть отсутствует. Окисленная нефть в этом случае влияет на метод сопротивления аналогично цементу: значение сопротивления повышается; одновременно снижается пористость.

Анализ случаев, связанных с остаточным нефтенасыщением и возможностями описанного метода, показал, что последний имеет существенные ограничения для пластов с глубокой зоной проникновения. Такие пласты по стандартной методике также можно оценить как производительные с коэффициентом нефтенасыщения до 80 %. Примером этого может

быть пласт в нижнепермских отложениях, вскрытый скв. Куличихенская-13 в интервале 2939—2953 м [Сгурнова та ін., 2005].

Стоит заметить, что кроме описанных критериев определения пластов с остаточным нефтенасыщением, достаточно часто показания на кривых гамма-каротажа заметно снижаются. Как показала комплексная интерпретация, причиной является заполненность битумом значительной части порового пространства.

Следовательно, тип кривой БКЗ, величина отношения ρ_z (у. э. с. зоны проникновения) к ρ_b (у. э. с. нетронутой части пласта), разница в значениях пористости, установленных по методам сопротивления и АК, снижение показаний ГК в сравнении с водоносными коллекторами, наличие глубокой зоны проникновения — это основные критерии, опираясь на которые можно разделить пласты на объекты производительные и с остаточным нефтенасыщением. Для моделей таких разрезов эффект экранирования для БКЗ делает невозможным количественную интерпретацию материала.

Коллекторы аномально низкого сопротивления. Изучение и анализ значительного количества фактического материала по производительным пластам низкого сопротивления (1—5 Ом·м) дали возможность прийти к выводу, что в ДДВ есть два фактора, которые определяют снижение сопротивления производительных коллекторов и не зависят один от другого [Сгурнова та ін., 2005]. Это, в первую очередь, объясняется наличием значительного количества остаточной воды, что связано с мелкозернистостью, глинистостью, полимиктованостью состава коллектора и хрупкостью его структуры. Такие производительные коллекторы характеризуются по большей части только ионной проводимостью, повышенной степенью проникновения фильтра бурового раствора. У. э. с. производительных пластов составляет 2—5 Ом·м, их водоносного аналога — 0,8—1,5 Ом·м. Для оценки производительности этих коллекторов в настоящее время принято использовать общепринятую методику. В данной работе проанализирована эффективность такой методики и предложен аппаратно-методический комплекс, позволяющий более эффективно решать задачу определения геоэлектрических параметров коллекторов аномально низкого сопротивления.

Снижение сопротивления производительного пласта, связанное с ионно-электронной

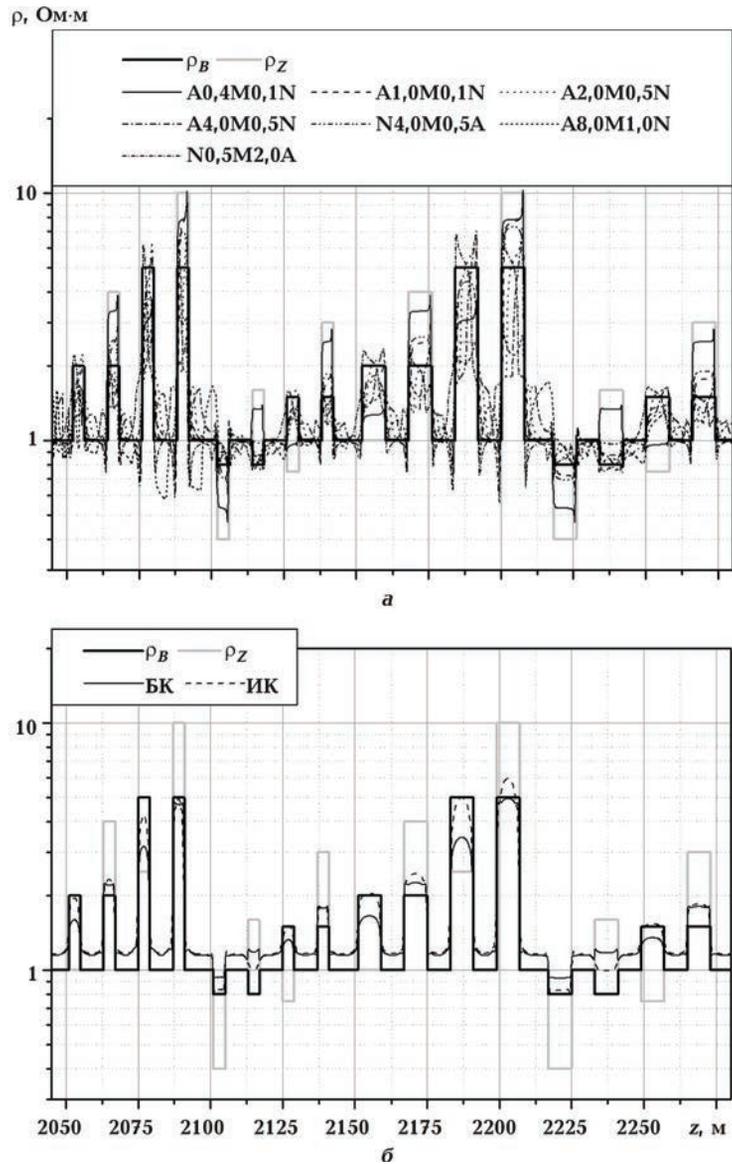


Рис. 5. Кривые БКЗ (а) и БК и ИК (б) для пластов anomalно низкого сопротивления, пересеченных скважиной, заполненной пресным буровым раствором.

проводимостью, зависит от наличия в коллекторе большого количества проводящих, чаще всего сульфидных, минералов (пирит, халькопирит, глауконит), что подтверждается керном. Характерной особенностью этих коллекторов являются anomalно низкие значения измеряемого КС и у. э. с. как для производительных (1,5—3 Ом·м), так и для водоносных (0,2—0,3 Ом·м) пластов, практическое отсутствие зоны проникновения, повышенные значения на кривой ИННК для производительных коллекторов в сравнении с водонасыщенными. В результате переинтерпретации материалов ГИС по скв. 25 Монастырищен-

ского месторождения был испытан интервал 3374,0—3377,6 м и получен фонтан нефти дебитом 50 т/сут [Сгурнова та ін., 2005]. В дальнейшем промышленные приливы нефти из пластов anomalно низкого сопротивления были получены на Талалаевском, Софиевском, Богдановском, Милькевском месторождениях в отложениях разной стратиграфической принадлежности. Это дает возможность прийти к выводу, что пласты anomalно низкого сопротивления не выдержанны как пространственно, так и в разрезе. Их мощность не превышает 3—4 м; с наибольшей достоверностью они приурочены к внутриинформацион-

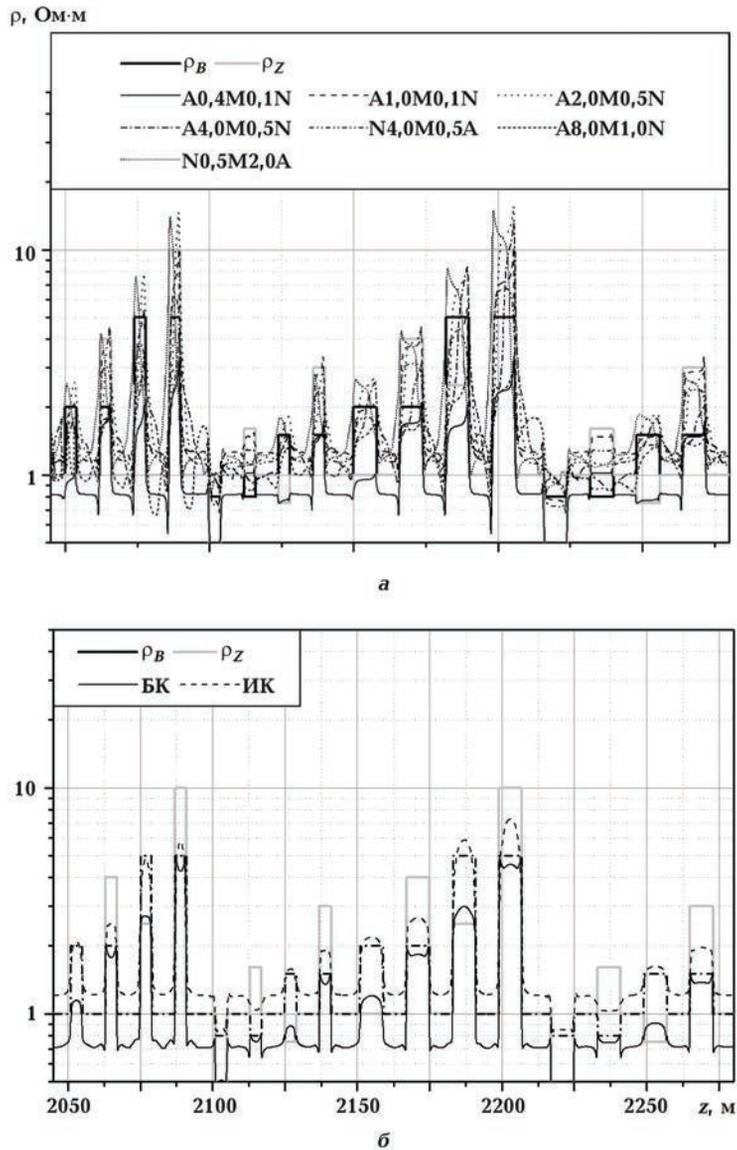


Рис. 6. Кривые БКЗ (а) и БК и ИК (б) для пластов anomalно низкого сопротивления, пересеченных скважиной, заполненной соленым буровым раствором.

ным или стратиграфическим перерывам в осадконакоплении. Изучение геофизической характеристики пластов anomalно низкого сопротивления показало, что этот параметр по ИК и БК в 3—5 раз ниже сопротивления водоносных коллекторов с ионной проводимостью при одинаковой характеристике по ГК, АК и др. Продуктивные пласты anomalно низкого сопротивления по значениям КС практически не отличаются от водоносных, которые не имеют электронной проводимости [Зайковский и др., 1974].

Если отмеченные пласты продуктивны, их можно принять за водоносные. Кроме того,

водоносными могут быть и пласты значительно большей мощности, если в них, особенно в кровельных частях, находятся anomalно низкоомные коллекторы. Это может привести к пропуску производительного объекта или к занижению величины нефтегазонасыщенной мощности. Такие примеры известны на Милькевском и Тимофеевском месторождениях. Как видно, достоверная оценка характера насыщения пластов anomalно низкого сопротивления приобретает практическое значение. Однако сложность решения этого вопроса до этого момента связывалась с невозможностью использования метода сопротивления. Основны-

ми были, в первую очередь, прямые методы испытания пластов на кабеле. Отличаются эти коллекторы характеристикой импульсного нейтрон-нейтронного каротажа, согласно которой производительные пласты выделяются заметно повышенными значениями, а водоносные — сниженными, близкими к характеристикам глинистых пород.

Следовательно, нахождение пластов аномально низкого сопротивления в горизонте, перспективность которого оценена положительно по прослойкам высокого или повышенного сопротивления, отсутствие зоны проникновения, позитивный результат отбора пробы с помощью исследования пласта на кабеле являются важными предпосылками для зачисления этих пластов к производительным и их испытания.

Для анализа рассмотрим терригенный разрез (у. э. с. бурового раствора 1,5 Ом · м, диаметр скважины 0,216 м), в котором представлены нефтенасыщенные и водонасыщенные коллекторы аномально низкого сопротивления, соответствующие пластам ДДВ мощностью 4 и 8 м [Егурнова та ін., 2005]. Для полноты анализа были выбраны коллекторы как повышающего, так и понижающего проникновения. На рис. 5 представлены кривые БКЗ, БК, ИК для такой модели разреза при пресном буровом растворе, на рис. 6 — при соленом.

По приведенным кривым БКЗ невозможно достоверно исследовать ближнюю зону пла-

стов с проникновением. Более того, попытка использовать параметры зоны проникновения, определенные по БКЗ, внесет существенную погрешность в определение ρ_B . А одновременное определение ρ_Z , ρ_B , D/d даст еще большую погрешность. Такой результат является объективным следствием низкого вертикального разрешения БКЗ и эффекта экранирования при чередовании пластов различного у. э. с.

Выводы. На основании полученных и продемонстрированных результатов моделирования можно сделать следующий вывод: комплекс БКЗ-БК-ИК не позволяет самостоятельно решить проблему распознавания (и достоверного определения их геоэлектрических параметров) "ошибочных" коллекторов и коллекторов остаточного нефтенасыщения, а также определения истинных геоэлектрических параметров пластов аномально низкого у. э. с., сложных построенных и анизотропных коллекторов.

Автор выражает глубокую признательность за высказанные замечания, без которых работа не была бы полной, д-ру физ.-мат. наук В. Н. Шуману и канд. техн. наук Р. С. Челокьяну за внимание к работе и полезное обсуждение результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Украины для молодых ученых, предоставленного Государственным фондом фундаментальных исследований Украины (проект GP/ F32/033) и гранта Президиума НАН Украины.

Список литературы

- Акопян О.К. Корреляционные связи между анизотропией электросопротивления и скорости продольных волн Армении при температурах до 1000 °С // Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. — Ереван, 1985. — С. 129.
- Батугин С.А. Анизотропия массива горных пород. — Новосибирск: Наука, 1988. — 86 с.
- Горбик Г.К., Зундулевич С.М., Кулинкович А.Е. Машинная интерпретация кривых БКЗ. — Москва: Недра, 1982. — С. 94—106.
- Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. — Москва: Недра, 1972. — 368 с.
- Егурнова М.Г., Зайковський М.Я., Заворотько Я.М., Цюха О.Г., Кнішман О.Ш., Муляр П.М., Дем'яненко І.І. Нафтогазоперспективні об'єкти України. Нафтогазоносність та особливості літогеофізичної будови відкладів нижнього карбону і девону Дніпровсько-Донецької западини. — Київ: Наук. думка, 2005. — 196 с.
- Зайковский М. Я., Егурнова М. Г., Калегин Г. И. О некоторых особенностях коллекторов нефти и газа месторождений Днепрорско-Донецкой впадины // Нефт. и газ. промышленность. — 1974. — № 4. — С. 6—8.
- Кнеллер Л.Е., Сигорчук А.И. Новый алгоритм определения удельного электрического сопротивления пластов // Прикладная геофизика. — 1982. — Вып. 102. — С. 172—183.
- Красножон М.Д. Компьютеризированная тех-

- нология интерпретации материалов электрического каротажа // Каротажник. — 2005. — № 3—4 (130—131). — С. 27—52.
- Лебедев Т.С., Шепель С.И.* Термобарические изменения электрической анизотропии некоторых пород Криворожской сверхглубокой скважины (Украина) // Геофиз. журн. — 2001. — **23**, № 5. — С. 3—14.
- Технология* исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. Методическое руководство / Под. ред. М.И. Эпова, Ю.Н. Антонова. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. — 121 с.
- Lastovickova M., Shepel S.I.* Laboratory measurements of electrical conductivity and its anisotropy of the KTB rocks comparison of these results with results from the Kola and Krivoy Rog super-deep boreholes // *Annal. Geophys.* — 1993. — Supplement 1, **11**, Part. 1. — P. 21.
- Lebedev T.S., Korchin V.A., Shepel S.I., Shapoval V.I., Burtny P.A.* *PT*-dependences of anisotropy of physical properties of rocks of the Krivoy Rog ultradeep borehole section // *Annal. Geophys.* — 1993. — Supplement 1, **11**, Part 1. — P. 22.
- Tuck G.J., Stasey F.D.* Dielectric anisotropy as a petrofabric indicator // *Tectonophysics.* — 1978. — **50**. — P. 1—11.