

**Н. Л. Миронцов**

## **Эффективный метод исследования сложнопостроенных анизотропных пластов-коллекторов в терригенных разрезах**

*(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)*

*Рассмотрена актуальная задача определения геоэлектрических параметров сложнопостроенных анизотропных пластов-коллекторов в терригенных разрезах. Показано, что классический комплекс БКЗ–БК–ИК не позволяет решать такую задачу. Предложены три аппаратурно-методических комплекса для ее эффективного решения.*

Рассмотрена актуальная задача определения геоэлектрических параметров сложнопостроенных анизотропных пластов-коллекторов в терригенных разрезах. Показано, что классический комплекс БКЗ–БК–ИК не позволяет решать такую задачу. Предложены три аппаратурно-методических комплекса для ее эффективного решения.

Сложнопостроенными принято называть пласты неоднородного строения, которое выражается в последовательности разных групп коллекторов-пропластков, разного гранулометрического и минерального состава и отсортированности [1]. Изучение таких коллекторов осложняется явлением анизотропии, которое проявляется в различных значениях кажущегося сопротивления (КС), полученного путем измерения зондами вдоль и по нормали к совокупности маломощных пропластков разного удельного электрического сопротивления (УЭС). Это явление может быть объяснено особенностью вычисления значения суммарного сопротивления параллельного и последовательного соединения резисторов. Так, при последовательном соединении 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 УЭС коллектора, в том числе продуктивного. При использовании аппаратуры бокового каротажного зондирования (БКЗ), обладающей 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 сложнопостроенным коллекторам свойственны также экранирующие эффекты, что связано с чередованием в одном пласте прослоек высокого и низкого УЭС.

В настоящем сообщении изложены результаты исследования возможностей метода БКЗ для сложнопостроенных анизотропных пластов-коллекторов в терригенных разрезах, а также возможности применения для изучения методов многозондового бокового каротажа (МЭК-Ф) [2, 3], многозондового псевдо-бокового каротажа МЭК-М [3, 4] и многозондового

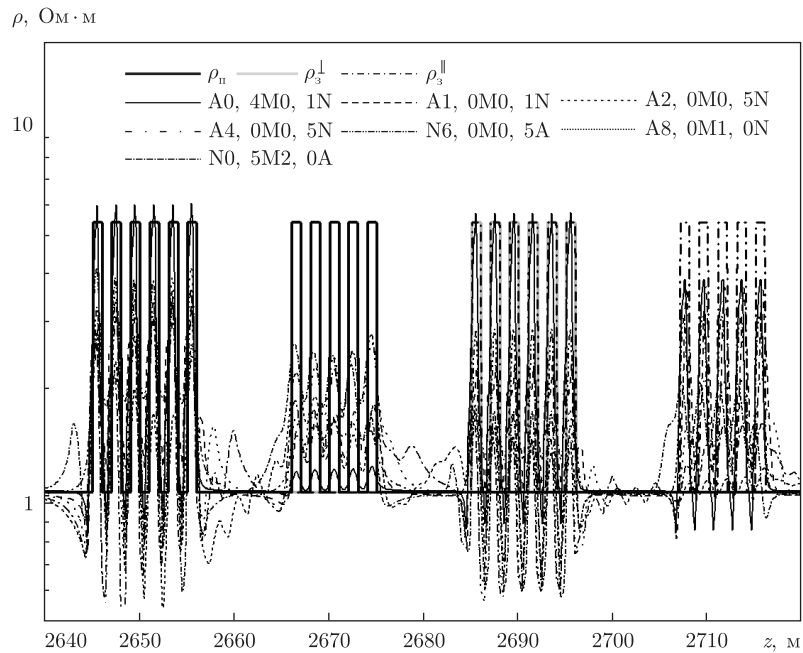


Рис. 1. Кривые БКЗ

индукционного каротажа (ИК) [5, 6]. Рассмотрен был пример действительно анизотропных пластов (УЭС — тензор), имеющий важное значение, в силу того, что отобранный из скважин керновый материал показывает наличие существенной анизотропии проводимости [7]. В то же время все существующие и применяемые на практике методы геофизического исследования скважин предполагают *a priori*, что пласты УЭС отдельных объектов изотропны [7–11].

Заметим, что ключевым будет не создание метода определения геоэлектрических параметров ( $\rho_n$  — УЭС нетронутой части пласта;  $\rho_3$  — УЭС зоны проникновения;  $D/d$  — отношение диаметра зоны проникновения к номинальному диаметру скважины) совокупности пропластков различного УЭС, как одного объекта, а возможность расчленения такого разреза на отдельные пропластки и определение истинных параметров каждого из них, что и позволит эффективно исследовать сложнопостроенные анизотропные пласты-коллекторы.

Рассмотрим модель разреза, состоящую из последовательности маломощных пластов, которые соответствуют реальным объектам Днепровско-Донецкой впадины [1]. На рис. 1, 2 представлены параметры разреза и полученные для этих параметров путем моделирования КС методом БКЗ, бокового каротажа (БК) и индукционного каротажа (ИК) (УЭС бурового раствора 1,5 Ом·м, диаметр скважины 0,216 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 ( $\rho_3^\perp \neq \rho_3^\parallel$ ).

Очевидно, метод БКЗ для такого тонкослоистого разреза не может дать не только верного количественного, но и качественного результата. Методы БК и ИК хорошо расчленяют разрез (в силу высокого вертикального разрешения), но не позволяют решить две главные задачи: определить параметры ближней зоны ( $\rho_3$ ,  $D/d$ ) и наличие анизотропии с последующим вычислением ее параметров ( $\rho_3^\perp$ ,  $\rho_3^\parallel$ ).

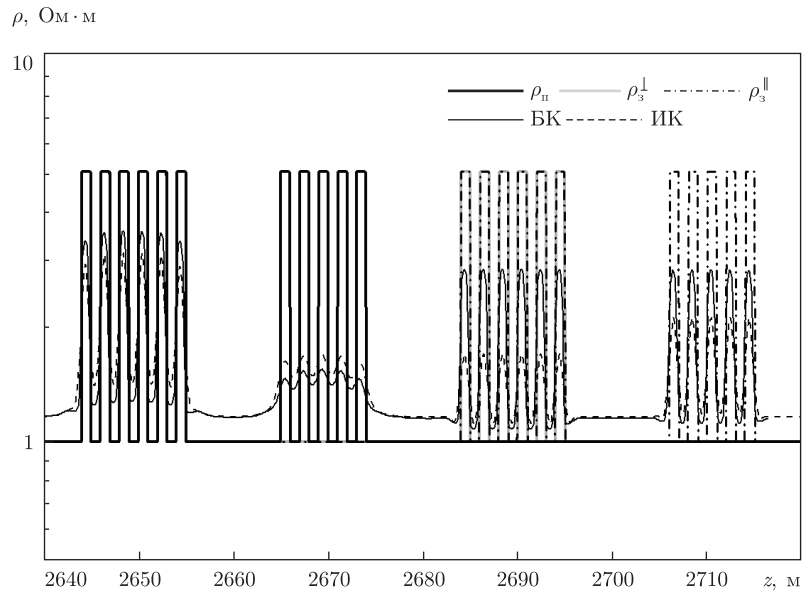


Рис. 2. Кривые БК, ИК

Действительно, существующая практика интерпретации каротажа предполагает следующее [1]: флюидосодержание и коэффициент нефтегазонасыщения однородного изотропного пласта-коллектора определяются по методу сопротивления. Однако для сложнопостроенного анизотропного, с экранирующими эффектами, пласта-коллектора такая методика оказывается неприменимой. Дело в том, что объединение в единую пачку пропластков разного сопротивления и снятие средних значений 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 — к зачислению его к бесперспективным).

Во избежание такой ошибки в решении этого очень важного вопроса, целесообразно использовать и другую последовательность в интерпретации данных каротажа [1]. 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 отличаются по сопротивлению, их объединение в один пласт, при обработке кривых БКЗ, исключается. Обработку БКЗ в этом случае обычно производят по однородным, хотя и малой мощности прослойкам повышенного сопротивления, с использованием при этом соответствующих палеток.

Для пластов большей мощности и с меньшей неоднородностью обработку БКЗ производят, подбирая для этого уверенно водоносные пласты и те, производительность которых нужно определить. Обязательным условием при этом должно быть соблюдение аналогичности литологии и максимальное подобие геофизической характеристики на кривых нейтронного гамма-каротажа (НГК), гамма-каротажа (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 ре-

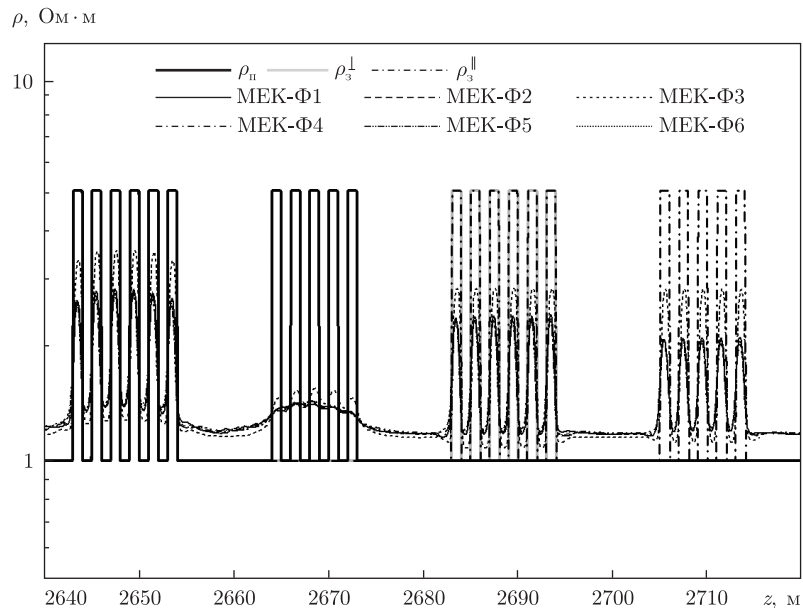


Рис. 3. Кривые MEK-Ф

зультатам интерпретации БКЗ и ИК. Увеличение сопротивления перспективного пласта в 2–3 раза считают достаточным для того, чтобы предположить его положительно охарактеризованным.

Информативным является анализ кривых потенциала самополяризации (ПС) в комплексе с данными ГК и НГК. Снижение аномалии ПС (если она не искажена влиянием бурового раствора или индустриальными 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), исследование пласта на трубах (ИПТ).

Очевидно, что намного более эффективным было бы использование одного универсального электрометрического метода, который бы позволил исключить из комплекса исследования дорогостоящих и сложных комплексов, таких, как уже упоминавшиеся ГК, НГК, АК, ПС, ИПК, ИПТ и др, а также, который бы позволил избежать введения дополнительных допущений типа флюидонасыщения исследуемых объектов.

В качестве приведенных универсальных комплексов рассмотрим разработанные автором МЭК-Ф, МЭК-М и многозондовый ИК.

Рис. 3 демонстрирует кривые МЭК-Ф для модели разреза, представленной на рис. 1, 2. Очевидно, что вертикальное разрешение метода позволяет уверенно выделять маломощные пласты. Кроме того, дифференциация исследования распределения УЭС вдоль пласта позволяет уверенно определять параметры как ближней, так и дальней зоны пласта. Также измеряемые комплексом КС (6 из 7, представленные на рис. 3) позволяют достоверно определять параметры анизотропии  $\rho_3^\perp$  и  $\rho_3^\parallel$ . В случае же отсутствия анизотропии, оказывается, что  $\rho_3^\perp = \rho_3^\parallel$ , что также служит подтверждением корректности метода. Следует также отметить ухудшение характеристик метода для пластов с понижающим проникновением. Это, однако, является объективной особенностью БК и ИК. На рис. 2 кривые БК

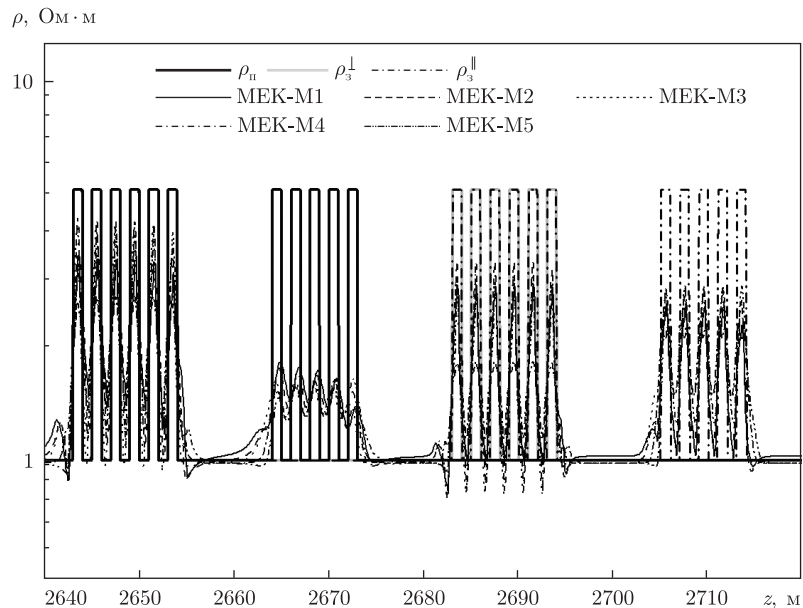


Рис. 4. Кривые МЕК-М

и ИК также существенно занижены и имеют худшее вертикальное разрешение именно для понижающего проникновения, но такая особенность не приводит к неверным результатам интерпретации.

Для модели этого же разреза на рис. 4 представлены кривые МЭК-М. Вертикальное разрешение метода оказывается также достаточно высоким для исследования пластов мощностью 1 м. Кроме того, отсутствуют экранные эффекты, что является существенной особенностью метода, в основе конструкции которого лежит применение обычных градиент-зондов.

Остановимся на возможностях многозондового индукционного каротажа для решения описанных задач. Сразу заметим, что любая аппаратура ИК (оси катушек зондов совпадают с осью скважины) не применима для исследования параметров анизотропии  $\rho_3^\perp$  и  $\rho_3^\parallel$ , так как измеряемая величина — азимутальное УЭС  $\rho_3^\varphi$ . В то же время применение предложенного автором метода решения уравнения Фредгольма первого рода типа свертка [6, 12] позволяет добиться вертикального разрешения сопоставимого с шагом записи (0,1 м) и таким образом задача расчленения пачки маломощных пластов решается автоматически для любого типа проникновения. Более подробное его описание содержится в публикациях [13, 14].

Обобщение результатов исследований по изучению терригенных коллекторов ДДЗ методами электротометрии позволяет сделать следующие выводы:

- стандартный комплекс БКЗ–БК–ИК не способен решать задачу определения геоэлектрических параметров сложнопостроенных и анизотропных терригенных коллекторов;
- комплексы МЭК-Ф и МЭК-М успешно решают такую задачу;
- комплекс многозондового ИК решает задачу определения геоэлектрических параметров маломощных сложнопостроенных коллекторов, но не решает такую задачу для 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 вни-*

мание к работе и полезное обсуждение перспективности изложенного принципа, а также специалистом ОАО “Опытно-конструкторское бюро геофизического приборостроения” (Киев), участвовавшим в конструктивной разработке габаритных макетов аппаратуры МЭК-Ф и МЭК-М. Также автор выражает глубокую признательность коллективу авторов фундаментальной работы [1], без использования результатов которой, представленная работа не была бы возможна.

1. Єгурнова М. Г., Зайковський М. Я., Заворотько Я. М., Цьоха 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.
2. Миронцов Н. Л. Новый принцип многозондового электрического каротажа // Доп. НАН України. – 2010. – № 6. – С. 103–105.
3. Myrontsov M. L. Method for improving the spatial resolution of resistivity logging // Геофиз. журн. – 2010. – **32**, No 4. – С. 119–121.
4. Миронцов Н. Л. Решение прямых и обратных задач электрического и индукционного каротажа методом интегральных (полных) токов / Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики, Київ. – 2009. – С. 340–352.
5. Миронцов Н. Л. Два новых подхода к реализации многозондового бокового каротажа // Геофиз. журн. – 2011. – **33**, № 1. – С. 116–120.
6. Миронцов Н. Л. Применение метода решения уравнения Фредгольма первого рода типа свертки для задач индукционного каротажа // Там же. – 2009. – **31**, № 3. – С. 116–120.
7. Дажнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. – Москва: Недра, 1972. – 368 с.
8. Красножон М. Д. Компьютеризированная технология интерпретации материалов электрического каротажа // НТВ “Каротажник”. – 2005. – № 3–4. – (130–131). – С. 27–52.
9. Горбик Г. К., Зундулевич С. М., Куликович А. Е. Машинная интерпретация кривых БКЗ. – Москва: Недра, 1982. – С. 94–106.
10. Кнеллер Л. Е., Сидорчук А. И. Новый алгоритм определения удельного электрического сопротивления пластов // Прикл. геофизика. – 1982. – Вып. 102. – С. 172–183.
11. Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. Методическое руководство / Под. ред. М. И. Эпов, Ю. Н. Антонов. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 2000. – 121 с.
12. Миронцов Н. Л. Практичне застосування неітераційного методу розв'язання рівняння Фредгольма першого роду до задач геофізики // Доп. НАН України. – 2009. – № 5. – С. 149–152.
13. Миронцов Н. Л. Решение задачи восстановления истинного вертикального профиля проводимости по данным индукционного каротажа // НТВ “Каротажник” – 2010. – № 3. – С. 57–69.
14. Миронцов Н. Л. Способ решения 2D обратной задачи индукционного каротажа // Геофиз. журн. – 2009. – **31**, № 4. – С. 196–203.

Институт геофизики им. С. И. Субботина  
НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 23.12.2011

**М. Л. Миронцов**

## **Ефективний метод дослідження складнобудованих анізотропних пластів-колекторів у терригенних розрізах**

*Розглянуто актуальну задачу визначення геоелектричних параметрів складнобудованих анізотропних пластів-колекторів у терригенних розрізах. Показано, що класичний комплекс БКЗ–БК–ІК не дозволяє розв'язувати таку задачу. Запропоновано три апаратурно-методичних комплексів для її ефективного розв'язання.*

M. L. Myrontsov

**Efficient investigation method for complex structures and anisotropic formations in clastic deposits**

*The actual problem of determination of geoelectrical parameters of complex structures and anisotropic formations in clastic deposits is considered. It is shown the classical BKZ-DK-IK complex does not allow one to solve this problem. Three hardware-methodical complexes for the efficient solution of the problem are proposed.*