

Н. Л. Миронцов**Аппаратурно-методический комплекс для исследования коллекторов аномально низкого сопротивления***(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)*

Рассмотрена актуальная задача определения геоэлектрических параметров коллекторов аномально низкого сопротивления. Показано, что классический комплекс БКЗ–БК–ИК не позволяет решать такую задачу, в частности, не позволяет с необходимой точностью выделять продуктивные пласты и определять их геоэлектрические параметры. Для ее эффективного решения предложены три аппаратурно-методических комплекса: комплекс многозондового индукционного каротажа и два комплекса многозондового электрического каротажа. Рассмотрены особенности применения таких комплексов в условиях Днепровско-Донецкой впадины.

Изучение и анализ значительного количества фактического материала по производительным пластам низкого сопротивления ($1\text{--}5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) позволили установить следующее: в Днепровско-Донецкой впадине (ДДВ) имеется два фактора, которые в основном определяют снижение сопротивления производительных коллекторов и не зависят один от другого [1]. Это в первую очередь объясняется наличием значительного количества остаточной воды, что связано с мелкозернистостью, глинистостью, полимиктовым составом коллектора и хрупкостью его структуры. Такие производительные коллекторы характеризуются главным образом ионной проводимостью и повышенной степенью проникновения фильтрата бурового раствора. Удельное электрическое сопротивление (УЭС) производительных пластов составляет $2\text{--}5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, их водоносного аналога — $0,8\text{--}1,5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Для оценки производительности рассматриваемых коллекторов в настоящее время принято использовать общепринятую методику [1]. В данном сообщении анализируется ее эффективность и предложен аппаратурно-методический комплекс, позволяющий более эффективно решать задачу определения геоэлектрических параметров исследуемых коллекторов аномально низкого сопротивления.

Снижение сопротивления производительного пласта, связанное с ионно-электронной проводимостью, зависит от наличия в коллекторе большого количества проводящих, в основном сульфидных, минералов (пирита, халькопирита, глауконита), что подтверждается керном. Характерная особенность коллекторов — аномально низкие значения измеряемого кажущегося сопротивления (КС) и УЭС как для производительных ($1,5\text{--}3,0 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), так и для водоносных ($0,2\text{--}0,3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), практическое отсутствие зоны проникновения, повышенные значения отсчетов на кривой импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК) для производительных коллекторов в сравнении с водонасыщенными. В результате переинтерпретации материалов ГИС (геофизического исследования скважин) по скв. № 25 Монастырищенского месторождения испытан интервал $3374,0\text{--}3377,6 \text{ м}$, с которого затем был получен фонтан нефти дебитом 50 т/сут [1]. В следующие годы промышленные приливы нефти из пластов аномально низкого сопротивления были получены на Талалаевском, Со-

фиевском, Богдановском, Милькевском месторождениях в отложениях разной стратиграфической принадлежности [1]. Очевидно, что рассматриваемые пласты невыдержаны как пространственно, так и в разрезе. Их мощность не превышает 3–4 м; с наибольшей достоверностью они приурочены к внутриинформационным или стратиграфическим перерывам в осадконакоплении. Изучение геофизической характеристики данных пластов показало, что этот параметр по индукционному (ИК) и боковому каротажу (БК) в 3–5 раз ниже сопротивления водоносных коллекторов с ионной проводимостью при одинаковой характеристике по гамма-каротажу, акустическому каротажу и др. Продуктивные пласты аномально низкого сопротивления по значениям КС практически не отличаются от водоносных, которые не имеют электронной проводимости [2].

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 аномально низкоомные коллекторы. Это может привести к пропуску производительного объекта или к занижению величины нефтегазонасыщенной мощности. Такие примеры известны на Милькевском и Тимофеевском месторождениях [1]. Очевидно, достоверная оценка характера насыщения пластов аномально низкого сопротивления приобретает актуальное практическое значение. Однако сложность решения данного вопроса до этого момента связывалась с невозможностью использования метода сопротивления и потому основными были в первую очередь прямые методы испытания пластов на кабеле. Отличаются исследуемые коллекторы характеристикой ИННК, 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 необходимостью их испытания.

Для анализа рассмотрим терригенный разрез (УЭС бурового раствора 1,5 Ом · м, диаметр скважины 0,216 м), в котором представлены нефтенасыщенные и водонасыщенные коллекторы аномально низкого сопротивления, соответствующие пластам ДДВ [1]: $h = 4$ м и $h = 8$ м. Для полноты анализа рассмотрены коллекторы как повышающего, так и понижающего проникновения. Рис. 1, 2 демонстрируют кривые, соответствующие рассматриваемой модели разреза.

Очевидно, что боковое каротажное зондирование (БКЗ) не позволяет исследовать ближнюю зону приведенных пластов с зоной проникновения. Более того, попытка использования параметров зоны проникновения (ρ_z — УЭС зоны проникновения, D/d — отношение диаметра зоны проникновения к номинальному диаметру скважины), вычисленных по БКЗ, внесет существенную погрешность в определении ρ_n (УЭС нетронутой части пласта). Одновременное определение ρ_z , ρ_n , D/d [3, 4] дает еще большую погрешность. Такой результат является объективным следствием низкого вертикального разрешения БКЗ и эффекта экранирования при чередовании пластов различного УЭС.

Рассмотрим с этих позиций предложенный автором комплекс МЭК-Ф (многозондового электрического каротажа с физической фокусировкой) [5, 6]. Так как комплекс представляет собой набор зондов БК с различной глубиной исследования, то задача исследования коллекторов аномально низкого сопротивления, по сути, принципиально не отличается от задачи определения геоэлектрических параметров других типов пластов терригенного раз-

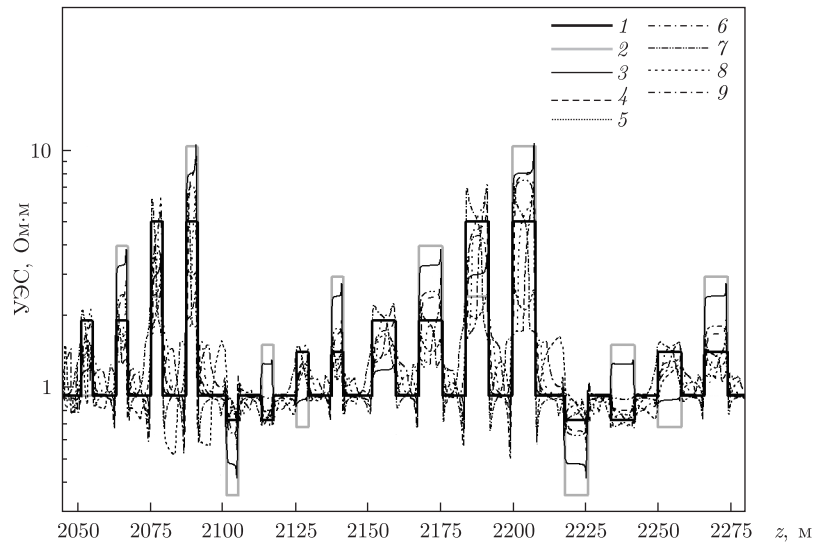


Рис. 1. Каротажная диаграмма БКЗ.

Кривые: 1 – ρ_p ; 2 – ρ_z ; 3 – A0,4M0,1N; 4 – A1,0M0,1N; 5 – A2,0M0,5N; 6 – A4,0M0,5N; 7 – N6,0M0,5A; 8 – A8,0M0,1N; 9 – N0,5M2,0A

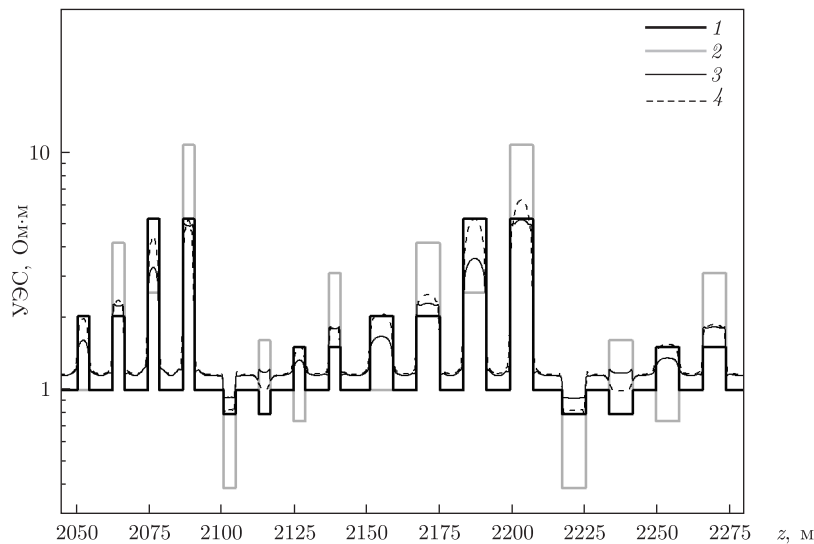


Рис. 2. Каротажная диаграмма БК, ИК.

Кривые: 1 – ρ_p ; 2 – ρ_z ; 3 – БК; 4 – ИК

реза. Действительно, для данной модели разреза приведенные на рис. 3 кривые подтверждают вывод: все пласты достоверно выделяются в отдельные объекты и геоэлектрические параметры каждого из них могут быть достоверно определены по каротажным кривым [5, 6].

Рассмотрим далее комплекс МЭК-М (многозондового электрического каротажа с математической фокусировкой) [7, 8]. Кривые, соответствующие указанной модели разреза, иллюстрирует рис. 4. Очевидно, что для данной модели разреза отсутствует эффект экранирования, вертикальное разрешение позволяет с высокой степенью точности определять геоэлектрические параметры пластов. При моделировании был обнаружен недостаток комп-

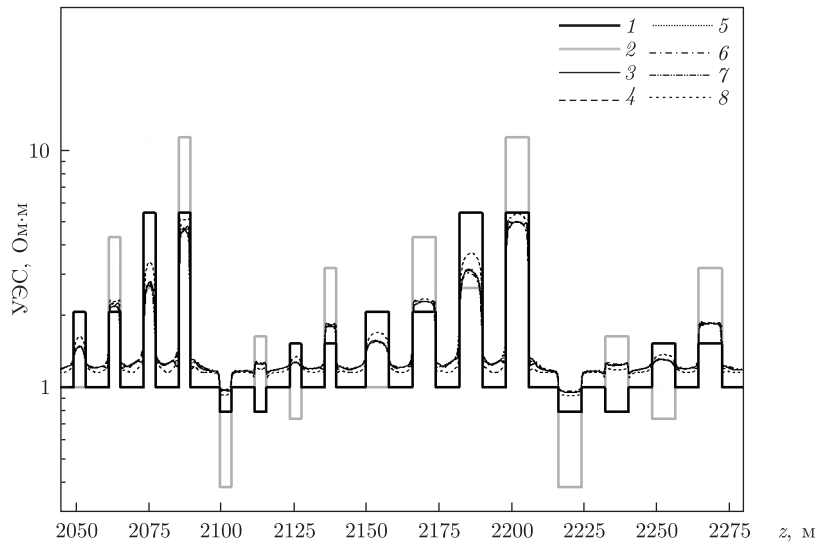


Рис. 3. Каротажная диаграмма МЭК-Ф.

Кривые: 1 — $\rho_{\text{п}}$; 2 — $\rho_{\text{з}}$; 3 — МЭК-Ф1; 4 — МЭК-Ф2; 5 — МЭК-Ф3; 6 — МЭК-Ф4; 7 — МЭК-Ф5; 8 — МЭК-Ф6

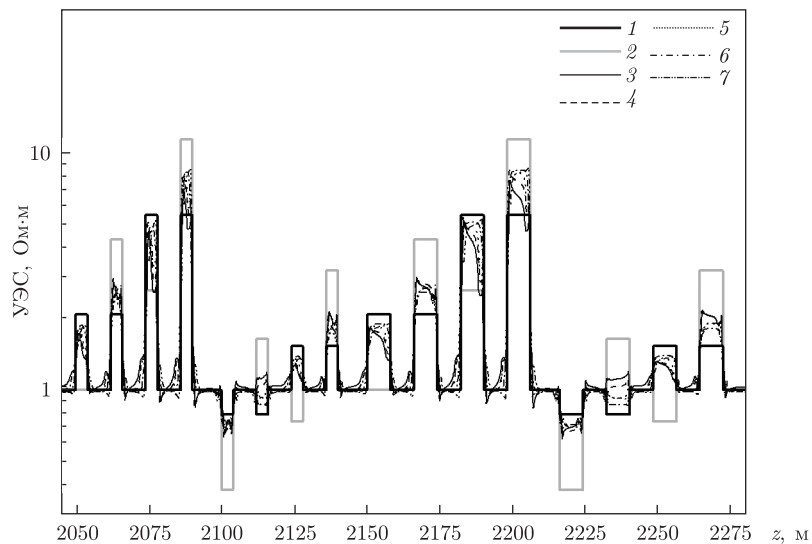


Рис. 4. Каротажная диаграмма МЭК-М.

Кривые: 1 — $\rho_{\text{п}}$; 2 — $\rho_{\text{з}}$; 3 — МЭК-М1; 4 — МЭК-М2; 5 — МЭК-М3; 6 — МЭК-М4; 7 — МЭК-М5

лекса МЭК-М: показания самых больших его зондов (длиной 2,8 м) подвержены значительному искажению вблизи границ пластов. Однако этот недостаток нивелируется исключением указанных зондов при решении обратной задачи (количество оставшихся зондов предоставляют количество измеряемых величин, превышающее количество неизвестных параметров пласта, и обратная задача не становится недоопределенной).

Следует заметить, что метод решения уравнения Фредгольма 1-го рода типа свертки позволяет улучшить вертикальное разрешение ИК до величины, сопоставимой с величиной шага записи [9], и соответственно задача определения геоэлектрических параметров пластов anomalно низкого сопротивления, пересеченных скважиной (заполненной бур-

вым раствором со слабой проводимостью (1–4 Ом · м)), может быть эффективно решена многозондовым комплексом ИК (например, 4 ИК [10, 11]).

Заметим, что для задач геофизического исследования скважин важным является не только достоверное измерение КС, но и возможность правильной интерпретации (решения обратной задачи). Именно поэтому (с точки зрения эффективности) задачи проектирования и конструирования аппаратуры не могут решаться отдельно от задачи создания алгоритма интерпретации данных такой аппаратуры. Для комплексов МЭК-Ф, МЭК-М и многозондового ИК для определения геоэлектрических параметров пласта уже созданы высокоточные алгоритмы [6–11].

На основании проведенных расчетов и представленных результатов можно заключить, что классический и используемый в настоящее время комплекс БКЗ–БК–ИК не позволяет самостоятельно определять геоэлектрические параметры пластов аномально низкого сопротивления; комплексы МЭК-Ф, МЭК-М и многозондового ИК позволяют с высокой точностью решать задачу для исследования таких пластов.

Автор выражает глубокую признательность д-ру физ.-мат. наук В. Н. Шуману и канд. техн. наук Р. С. Челокьяну за полезное обсуждение перспективности изложенного принципа, а также специалистам ОАО “Опытно-конструкторское бюро геофизического приборостроения” (Киев), участвовавшим в конструктивной разработке габаритных макетов аппаратуры МЭК-Ф и МЭК-М.

1. *Егурнова М. Г., Зайковський М. Я., Заворотько Я. М. та ін.* Нафтогазоперспективні об’єкти України. Нафтогазоносність та особливості літогеофізичної будови відкладів нижнього карбону і девону Дніпровсько-Донецької западини. – Київ: Наук. думка, 2005. – 196 с.
2. *Зайковський М. Я., Егурнова М. Г., Каледин Г. И.* О некоторых особенностях коллекторов нефти и газа месторождений Днепровско-Донецкой впадины // Нефть и газ. пром-сть. – 1974. – № 4. – С. 6–8.
3. *Красножон М. Д.* Компьютеризированная технология интерпретации материалов электрического каротажа // Науч.-техн. вестн. “Каротажник”. – 2005. – № 3/4 (130–131). – С. 27–52.
4. *Горбик Г. К., Зундулевич С. М., Куликович А. Е.* Машинная интерпретация кривых БКЗ. – Москва: Недра, 1982. – С. 94–106.
5. *Миронцов Н. Л.* Новый принцип многозондового электрического каротажа // Доп. НАН України. – 2010. – № 6. – С. 103–105.
6. *Myrontsov M. L.* Method for improving the spatial resolution of resistivity logging // Геофиз. журн. – 2010. – **32**, № 4. – С. 119–121.
7. *Миронцов Н. Л.* Решение прямых и обратных задач электрического и индукционного каротажа методом интегральных (полных) токов // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики: Зб. наук. праць. – Київ, 2009. – С. 340–352.
8. *Миронцов Н. Л.* Два новых подхода к реализации многозондового бокового каротажа // Геофиз. журн. – 2011. – **33**, № 1. – С. 116–120.
9. *Миронцов Н. Л.* Практичне застосування неітераційного методу розв’язання рівняння Фредгольма першого роду до задач геофізики // Доп. НАН України. – 2009. – № 5. – С. 149–152.
10. *Миронцов Н. Л.* Решение задачи восстановления истинного вертикального профиля проводимости по данным индукционного каротажа // Науч.-техн. вестн. “Каротажник”. – 2010. – № 3. – С. 57–69.
11. *Миронцов Н. Л.* Способ решения 2D обратной задачи индукционного каротажа // Геофиз. журн. – 2009. – **31**, № 4. – С. 196–203.

М. Л. Миронцов

Апаратурно-методичний комплекс для дослідження колекторів аномально низького опору

Розглянуто актуальну задачу визначення геоелектричних параметрів колекторів аномально низького опору. Показано, що класичний комплекс БКЗ–БК–ИК не дозволяє розв'язувати таку задачу, зокрема, не дозволяє з необхідною точністю виявляти продуктивні пласти та визначати їх геоелектричні параметри. Для її ефективного розв'язання запропоновано три апаратурно-методичні комплекси: комплекс багатозондового індукційного каротажу та два комплекси багатозондового електричного каротажу. Розглянуто особливості застосування таких комплексів в умовах Дніпровсько-Донецької западини.

M. L. Myrontsov

Hardware-methodical complex for the investigation of collectors with abnormally low resistance

The actual problem of determination of geoelectrical parameters of collectors with abnormally low resistance is considered. It is shown that a classical BKZ–DK–IK complex does not allow one to solve that problem, namely, to select productive strata and determine their geoelectrical parameters. Three hardware-methodical complexes for the efficient solution of that problem are proposed: a multiprobe induction logging complex and two multiprobe electric logging complexes. The features of the use of such complexes under conditions of the Dnieper-Donets Basin are considered.