

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
И ДЕЛОВОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ
ИССЛЕДОВАНИЯМ И РАБОТАМ В СКВАЖИНАХ

ISSN 1810-5599



3

(237)



ООО НПФ «АМК ГОРИЗОНТ»

15 лет

КАРОТАЖНИК

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

ТВЕРЬ 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
Н. С. Березовский

Зам. гл. редактора,
научный редактор
Ю. И. Кузнецов, д. г.-м. н., проф.

Отв. редактор С. В. Ларева

Редактор И. В. Шункова

Члены редакционной коллегии:

Ю. Н. Бармаков, д. т. н., проф.

Я. Н. Басин, д. т. н., проф. (США)

А. М. Блюменцев, д. т. н., проф.

А. Ф. Боярчук, к. г.-м. н.

Р. А. Валиуллин, д. т. н., проф.

В. А. Велижанин, к. т. н.

И. Н. Гайворонский, д. т. н., проф.

С. А. Дудаев, д. т. н.

Ф. Х. Еникеева, д. т. н.

В. Ю. Зайченко, д. г.-м. н.

В. И. Иванников, д. т. н., проф.

Л. Е. Кнеллер, д. т. н., проф.

Н. Г. Козыряцкий, к. т. н.

В. Ф. Козяр, д. т. н., проф.

А. К. Коньсов, д. т. н. (Казахстан)

М. Д. Красножон, д. геол. н.

(Украина)

А. А. Кременецкий, д. г.-м. н., проф.

О. Л. Кузнецов, д. т. н., проф.

Э. Е. Лукьянов, д. т. н.

А. В. Малинин, к. г.-м. н.

Ф. П. Митрофанов, д. г.-м. н.,

проф., академик РАН

А. А. Молчанов, д. т. н., проф.

Т. Н. Нестерова, к. т. н.

Г. А. Павленко, к. т. н.

В. А. Трофимов, д. г.-м. н., проф.

В. Г. Фоменко, д. г.-м. н., проф.

Р. Т. Хаматдинов, д. т. н., проф.

М. И. Эпов, д. т. н., проф.,

академик РАН

Г. Г. Яценко, д. г.-м. н.

Издательство "АИС"

Россия, 170041, г. Тверь,
ул. Зинаиды Коноплянниковой,
д. 17, корп. 1

Лицензия ЛР № 030838

от 29 июня 1998 г.

Свидетельство ПИ № 77-36891

от 20 июля 2009 г.

Индекс Роспечати – 82015.

ISSN 1810-5599.

Подписано в печать 3.03.2014.

Формат 60/84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 10,5. Уч.-изд. л. 10,5.

Тираж 1130. Зак. № 1444.

Компьютерная верстка, макет

ООО "Издательство "Триада".

Отпечатано в ООО "Тверская
фабрика печати".

© Издательство "АИС", 2014



Научно-технический вестник

(рецензируемое издание)

Год издания двадцать третий

КАРОТАЖНИК

Выпуск 3 (237)

Посвящен 15-летию

ООО НПФ "АМК ГОРИЗОНТ"

**ТВЕРЬ
2014**

УДК 550.832.44

В. Г. Рафиков, Л. Г. Леготин, Р. Х. Минияров,
А. Р. Кабирова, А. Н. Юсупов
ООО НПФ "АМК ГОРИЗОНТ"

ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕФТЕГАЗОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ МЕТОДОМ ВОЛНОВОГО АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

Рассмотрена возможность оценки проницаемости по параметрам волны Лэмба–Стоунли, регистрируемой в процессе проведения исследования скважин методом волнового акустического каротажа (ВАК).

Ключевые слова: акустический каротаж, проницаемость, Волна Лэмба–Стоунли, динамические параметры, коллекторы.

Проницаемость является наиболее важным и в то же время сложно определяемым свойством нефтегазовых коллекторов. Основной мерой проницаемости служит коэффициент проницаемости $k_{пр}$, определение которого сводится в соответствии с законом Дарси к измерению скорости фильтрации флюида при определенном перепаде давления через единичный объем породы. В практике геологоразведочных работ наибольший объем информации о проницаемости пород-коллекторов получают по результатам проведения исследований керна. К числу косвенных методов оценки проницаемости можно отнести определение проницаемости по данным отдельных видов каротажа (ЭК, ЯМК). Развитие акустического метода исследования скважин (АК) создало предпосылки использования результатов АК для изучения проницаемости горных пород. Цифровая регистрация акустического сигнала в процессе исследования скважины показывает, что существенный вклад в увеличение информации вносит волна Лэмба–Стоунли, регистрируемая на более поздних временах относительно вступлений поперечной волны. В опубликованных источниках этот тип волны именовался волной Стоунли, Лэмба, гидроволной, водной волной, нулевой нормальной волной, что изначально вносит неопределенность о предмете исследования. Учитывая наибольший объем исследований, опубликованных в российских источниках с использованием термина “волна Лэмба–Стоунли”, в работе [6] вы-

сказано предложение использовать этот термин при изучении связи параметров поверхностной волны с проницаемостью.

Особенности распространения поверхностных волн в скважине рассматривались теоретически и экспериментально в работах [1–6]. В них показано, что осесимметричный источник упругих колебаний возбуждает в скважине кроме продольной и поперечной волн также поверхностную волну, обладающую частотной дисперсией. Ее использование может быть продуктивным при определении различных параметров горных пород.

Как показали расчеты с использованием результатов решения дисперсионного уравнения распространения волны Лэмба–Стоунли [5], ее фазовая и групповая скорости возрастают с увеличением частоты. Построенные графики с использованием решения дисперсионного уравнения свидетельствуют о наличии линейной связи интервального времени волны Лэмба–Стоунли с коэффициентом пористости $k_{\text{п}}$ горной породы. Однако практически использовать предполагаемую корреляционную зависимость проницаемости и интервального времени волны Лэмба–Стоунли не позволяет возникающая при этом высокая погрешность. Причиной этого является петрофизическая особенность, заключающаяся в том, что даже в пределах одного продуктивного отложения определенному значению пористости может соответствовать фактически несколько значений проницаемости.

В этих условиях для оценки проницаемости более целесообразно использовать динамические параметры волны Лэмба–Стоунли. На практике чаще всего используют амплитуду этой волны. Высокая чувствительность динамических параметров волны Лэмба–Стоунли, определяемая по результатам решения дисперсионного уравнения, показывает возможность оценки проницаемости от минимального ($k_{\text{пр}} = 0,001 \text{ мкм}^2$) до максимального ($k_{\text{пр}} = 0,01 \text{ мкм}^2$ и более) ее значений.

Отличительной особенностью метода ВАК является возможность получения с его помощью информации как о величине пористости, так и о величине проницаемости исследуемого разреза горных пород.

Например, интервал 3520–3570 м (рис. 1) при низких значениях пористости $k_{\text{пАК}}$ и $k_{\text{пННК}}$ (порядка 2%) и слабой проницаемости (около 40 у. е.) по данным амплитуды волны Лэмба–Стоунли в скважине, бурящейся на малоглинистом полимеркарбонатном растворе, характеризуется как неколлектор. В газонасыщенном интервале 3600–3650 м

скважины увеличенная пористость и проницаемость $k_{пАК}$ до 8–10% и до 30 у. е. амплитуды волны Лэмба–Стоунли характеризуют пласт как коллектор. Свойство пласта как коллектора вызвало проникновение твердой и жидкой фаз раствора и изменение свойств пород в призабойной части пласта с последующей закупоркой остаточного газа в зоне проникновения. Специфические свойства современных типов растворов, как показывает исследование акустическим профиломером, не способствуют образованию глинистой корки в интервалах залегания коллекторов, что может быть дополнительной причиной неучитываемого затухания волны Лэмба–Стоунли.

Проникновение в пласт фильтрата раствора в интервале 3575–3600 м, интенсивное затухание амплитуды волны Лэмба–Стоунли (в 6 раз) и образование каверн свидетельствуют о высокой трещиноватости породы.

Горизонтальный ствол скважины, пробуренный на одном из месторождений Пермского края на депрессии с применением раствора на нефтяной основе, вскрыл карбонатные породы турнейского яруса (рис. 2).

Вскрытый разрез осложнен отдельными проницаемыми макротрещинами с повышенным по данным СГК содержанием калия. Поровый коллектор с межзеренной пористостью 18% выделен методами АК и НК-Т в интервале 1805–1840 м. Породы в интервале 1840–1920 м имеют по данным АК и НК-Т пористость, величина которой не превышает граничное значение 8%, что дает основание для вывода об отсутствии признаков коллектора и непродуктивности этого интервала. В интервале 1840–1920 м наблюдаются низкие значения амплитуды волны Лэмба–Стоунли, что свидетельствует о его высокой проницаемости за счет развития трещинной пористости. Наличие развитой трещинной пористости в интервале 1840–1920 м может обеспечить при определенных условиях более высокую продуктивность интервала в режиме эксплуатации. Однако игнорирование емкостных свойств коллектора и преувеличение значения его проницаемости при оценке фильтрационно-емкостных свойств горных пород приводит обычно к быстрому спаду дебита скважины. Объективная оценка потенциальной продуктивности коллектора может быть выполнена только по совокупности результатов измерения пористости методами АК на продольных волнах, НК-Т и измерения проницаемости метрологически обеспеченной аппаратурой ВАК.

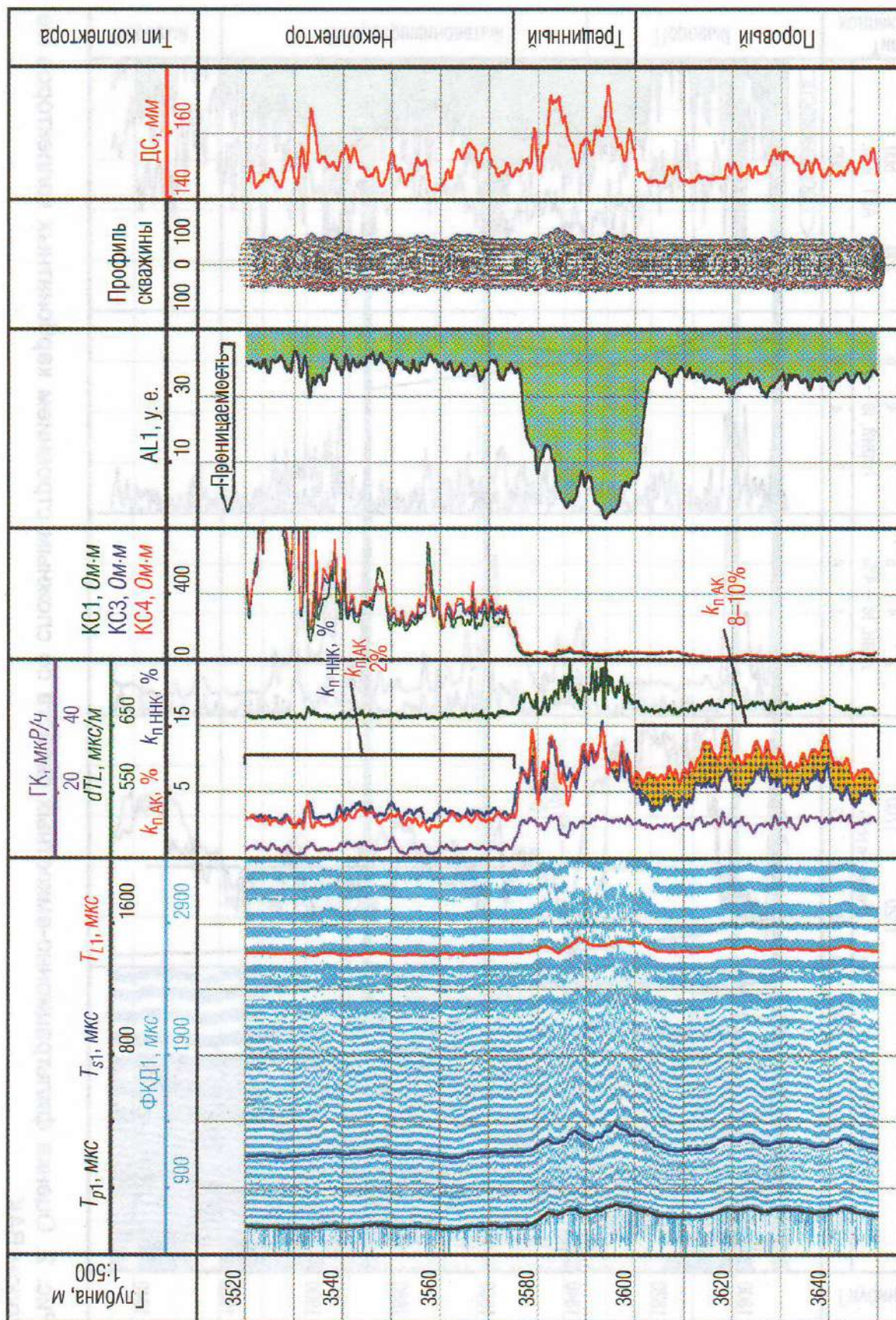


Рис. 1. Оценка фильтрационно-емкостных свойств поровых и трещиноватых коллекторов методом ВАК

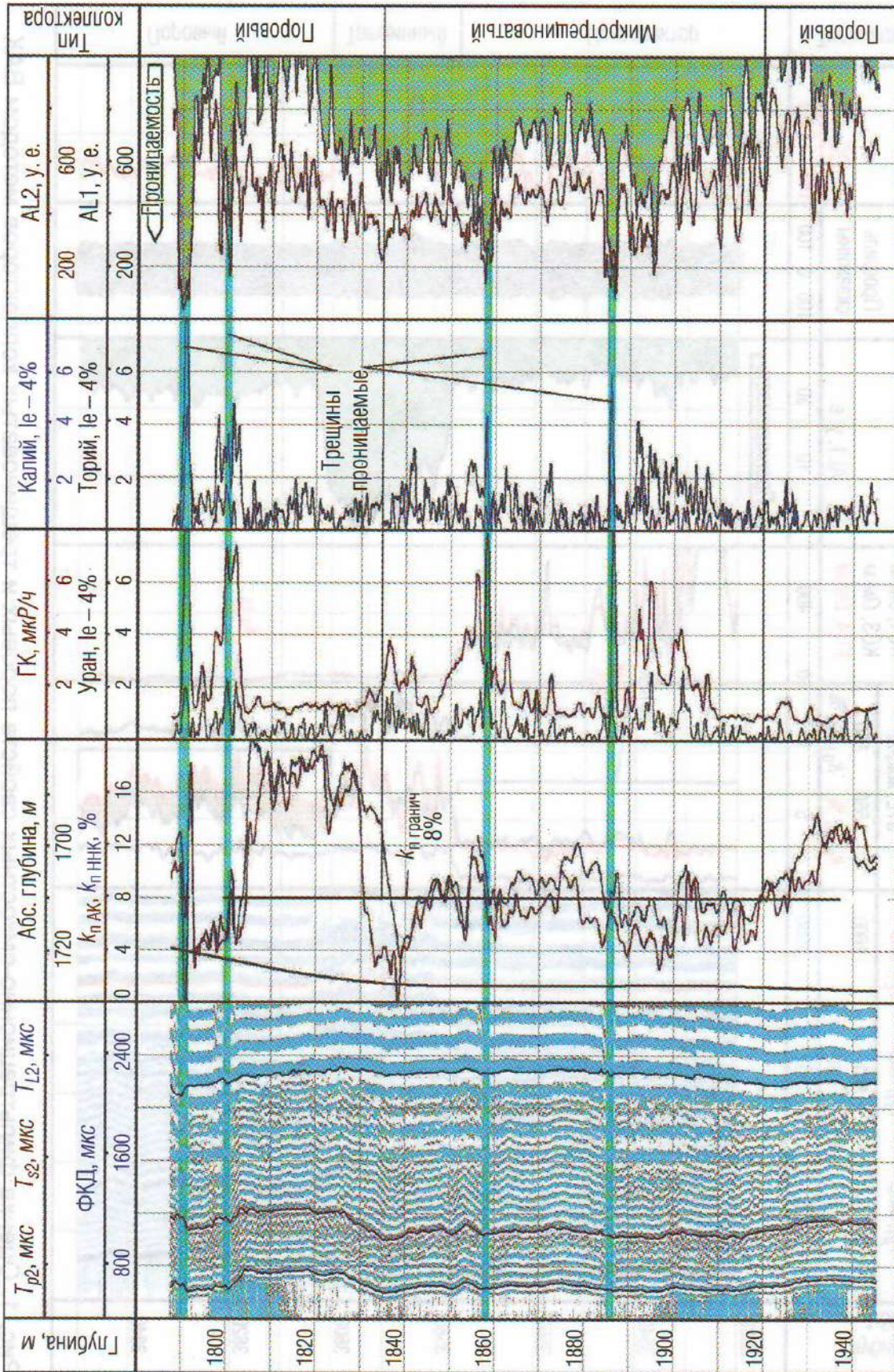


Рис. 2. Оценка фильтрационно-емкостных свойств со сложным строением карбонатных коллекторов методом ВАК

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмадеев А. А., Рафиков В. Г., Зиязетдинов А. Х., Леготин Л. Г. Опыт использования волнового акустического каротажа в комплексе с другими методами ГИС при исследовании горизонтальных скважин // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. 2008. Вып. 4 (169). С. 3–13.
2. Козяр В. Ф., Козяр Н. В. Волны Лэмба и Стоунли в скважине и решаемые с их помощью задачи промысловой геофизики // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. 2013. Вып. 4 (226). С. 99–125.
3. Кокшаров В. З. Волна Лэмба и ее связь с проницаемостью // Исследования по многоволновому акустическому каротажу и сейсмо моделированию. Новосибирск: Изд. ИГиГ СО АН СССР, 1990. С. 3–12.
4. Крауклис П. В., Крауклис Л. А. О дисперсии гидроволн в цилиндрическом кольце // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. 1976. Вып. 16. С. 54–60.
5. Крауклис Л. А., Щербакова Т. В., Исаков И. И. Исследование свойств нормальных волн при акустическом каротаже нефтяных и газовых скважин // Прикладная геофизика. 1982. Вып. 102. С. 166–174.
6. Крутин В. Н., Марков М. Г., Юматов А. Ю. Скорость и затухание волны Лэмба–Стоунли в скважине, окруженной насыщенной пористой средой // Физика Земли. 1987. № 9. С. 33–38.

*Рукопись статьи рассмотрена на НТС АМК "ГОРИЗОНТ"
и рекомендована к публикации*