

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геофизики

«Определение фильтрационно-емкостных свойств и характера насыщения пород коллекторов методом ядерно-магнитного томографического каротажа (на примере Архангельского месторождения)»

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 2 курса 261 группы
направления 05.04.01 Геология
профиль «Геофизика при поиске нефтегазовых месторождений»
геологического факультета
Гаджиевой Виктории Александровны

Научный руководитель

К. г.- м.н., доцент

дата, подпись

В.Ю. Шигаев

Зав. кафедрой

К. г. – м.н., доцент

дата, подпись

Е.Н. Волкова

Саратов 2020 г.

Введение. Актуальность работы. В последнее время поиски, разведка и разработка месторождений нефти и газа в России ведется в сложных геологических условиях. В связи с этим к эффективности геофизических исследований скважин (ГИС), которые представляют основу для всех стадий разработки месторождения, предъявляются более высокие требования.

При оценке фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) по данным ГИС необходимо учитывать то, что карбонатные породы в геологическом разрезе, как правило, характеризуются крайне изменчивой структурой порового пространства. Наиболее эффективным при изучении таких пород-коллекторов является проведение керновых исследований с имитацией пластовых условий, которые занимают продолжительное время. В качестве альтернативы можно предложить проведение комплекса ГИС, включающего специальные методы, в частности ядерно-магнитный каротаж (ЯМК). В рамках данной работы, исследования возможностей метода ЯМК проводятся на примере Архангельского месторождения, расположенного в пределах Балаковской вершины Пугачевского свода Волго-Уральской антеклизы.

Перспективными, в нефтегазоносном отношении, здесь являются карбонатные отложения девона и терригенно-карбонатные отложений карбона. **Объектом исследования** является бийский горизонт эйфельского яруса среднего отдела девонской системы.

Цель работы: определение фильтрационно-емкостных свойств и характера насыщения отложений бийского горизонта с помощью ЯМК.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие **задачи:**

1. Изучить геологическую характеристику Архангельского месторождения;
2. Ознакомиться с физико-геологическими основами метода ЯМК;
3. Изучить порядок обработки и интерпретация данных ЯМК;

4. Определить фильтрационно-емкостные свойства и характер насыщения объекта исследования по материалам ЯМК.

Материал по скважине №1 Архангельского месторождения получен во время прохождения производственной практики в ООО «ННК-Саратовнефтегаздобыча» в 2019 году.

Данная работа включает титульный лист, содержание, введение, 3 главы – «Ядерно-магнитный каротаж», «Краткая характеристика Архангельского месторождения», «Результаты работы», содержащие 12 подглав, заключение, список используемых источников, 23 рисунка, 6 таблиц. Объем работы составляет 62 страницы.

Основное содержание работы. В главе 1 «Ядерно-магнитный томографический каротаж» приводятся общие сведения о ЯМК. В подглаве 1.1 «История создания метода» указано, что явление ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) официально открыли две группы американских ученых из Станфордского и Гарвардского университетов, возглавляемые Ф. Блохом и Э.М.Парселлом в 1946 году. Метод быстро нашел применение в нефтепромысловой геологии – уже в начале 60 – х годов прошлого века был разработан метод ядерно-магнитного каротажа (ЯМК) в поле Земли. В 2001 г. на Ново - Медведковском месторождении Оренбургской области было проведено первое исследование скважины российским прибором ядерно-магнитного томографического каротажа (ЯМТК) с использованием поля постоянных магнитов.

В подглаве 1.2 приводятся физико-геологические основы методы ЯМК, который основан на взаимодействии магнитных свойств ядер химических элементов скважинной среды и внешнего магнитного поля, создаваемого скважинным прибором.

При ЯМР - исследовании изучается затухание намагниченности флюидов в порах горной породы. В разных точках исследования затухание намагниченности регистрируется в виде релаксационной кривой. Начальная

амплитуда релаксационной кривой, отражающая число резонирующих ядер, пропорциональна объемному водородосодержанию. При этом к моменту начала измерения релаксация ядер водорода, входящих в состав твердой фазы породы уже завершается, и они не вносят вклад в сигнал. Поэтому ЯМР характеризует водородосодержание только флюида (фильтрата, воды, нефти, газа) в пустотном пространстве породы, которое по данным калибровки пересчитывается в коэффициент пористости по ЯМР.

В подглаве 1.3 «Аппаратура ядерно-магнитного каротажа» рассказывается об устройстве скважинной аппаратуры для проведения измерений методом ЯМК.

Обычно она используется в трех вариантах: ЯМК1, ЯМТК, МРКТ. Магнитная система приборов ЯМТК представлена в виде длинного магнита, намагниченного перпендикулярно его оси. Прибор ЯМК состоит из трех частей: энергетического блока, блока электроники и зонда.

В подглаве 1.4 «Порядок интерпретации данных ядерно-магнитного каротажа» рассказывается о способе обработки и интерпретации данных, полученных методом ЯМК. Основной целью обработки данных ЯМК является определение петрофизических характеристик, главным образом, фильтрационно-емкостных свойств образцов горных пород или пластов-коллекторов. Исходной информацией для определения пористости являются: данные по калибровке прибора в емкости, имитирующей 100% пористость, и зарегистрированная релаксационная кривая.

Весь процесс обработки сосредоточен на расчете составляющих пористости в каждом из распределений T_2 . Результатом является распределение (спектр) времен релаксации.

Определение фильтрационно – емкостных свойств пород основано на их прямой зависимости от структуры порового пространства, описываемой спектром ЯМК. Базой для определения проницаемости по данным ЯМК служат спектры времен релаксации. Все существующие на сегодняшний день

методики определения этого параметра используют единый подход, заключающийся в подборе эмпирических соотношений, устанавливающих связь между проницаемостью и некоторыми интегральными характеристиками спектров ЯМР релаксации.

В главе 2 «Краткая характеристика Архангельского месторождения» приводится геологическая информация об Архангельском месторождении. В подглаве 2.1 «Административное положение и степень изученности» указано, что площадь работ располагается в пределах левобережья р. Волги, в Ершовском районе Саратовской области.

В подглаве 2.2 «Литолого-стратиграфическая характеристика» дается стратиграфическое описание геологического разреза рассматриваемого района работ, в котором выделяются отложения девонской, каменноугольной, пермской, неогеновой и четвертичной систем. Породы кристаллического фундамента в скважине №1 Архангельской площади не вскрыты.

В подглаве 2.3 «Тектоника» указано, что в тектоническом отношении Архангельское месторождение приурочено к юго-западному склону Балаковской вершины Пугачевского свода Волго-Уральской антеклизы.

В подглаве 2.4 «Нефтегазоносность» обращается внимание, что промышленная газоносность на Архангельском месторождении установлена в карбонатных отложениях девона и терригенных и карбонатных отложениях карбона.

В главе 3 «Результаты работы» описываются полученные в ходе исследований материалы. В подглаве 3.1 «Выделение коллекторов» представлена методика определения пород коллекторов. Критерием дифференциации одиночных коллекторов в карбонатной части разреза принято наличие положительной аномалии эффективной пористости ($K_{эф} > 0$). В разрезе месторождения присутствуют пропластки, не выделенные стандартным комплексом ГИС, или же интервалы, мощность которых

определена не полностью (1951,6 - 1953,6; 1994,2-1995,6; 1999-2000,8; 2001,6-2003,2; 2004,2-2006,8). Важно, что из интерпретационного процесса выпали отложения, Кп.эф. которых изменяется от 2%, до 7.2%, что указывает на пропущенные хорошие коллектора с высокой эффективной пористостью. Мощность не учтенных пропластков варьируется от 1,4 до 2,6 метров, а их общая толщина достигает 6.5 метров.

В подглаве 3.2 «Определение пористости» приводятся результаты расчета пористости, полученные методом ЯМК в сопоставление с материалами гамма-гамма плотностного каротажа (ГГК-п) и лабораторных исследований керн бийских отложений.

По материалам ЯМК определены петрофизические компоненты пористости. Реализуется методика граничных значений времен T₂, соответствующих различным механизмам удержания воды в порах разных размеров. Ось T₂ делится петрофизически обоснованными границами на несколько интервалов, каждый из которых соответствует группе пор с характерным для нее механизмом удержания флюида (например, пористость глин, пористость капиллярно-связанной воды, эффективная пористость, каверновая пористость).

На рисунке 1 представлены результаты ЯМК на Архангельском месторождении в карбонатном разрезе бийских отложений. По полученным данным исследований ЯМК рассчитаны полная пористость и пористость связанного флюида (использовано граничное значение между подвижным и неподвижным флюидом, равное 110 мс).

По распределению времен поперечной релаксации T₂ (колонка 4) были рассчитаны: распределение пористости по бинам (колонка 3), которое дает наглядную картину структуры порового пространства; объемное содержание связанной воды глин, капиллярно-связанного флюида и свободного флюида (колонка 6), полученные по методу отсечек, оценка значений проницаемости (колонка 8).

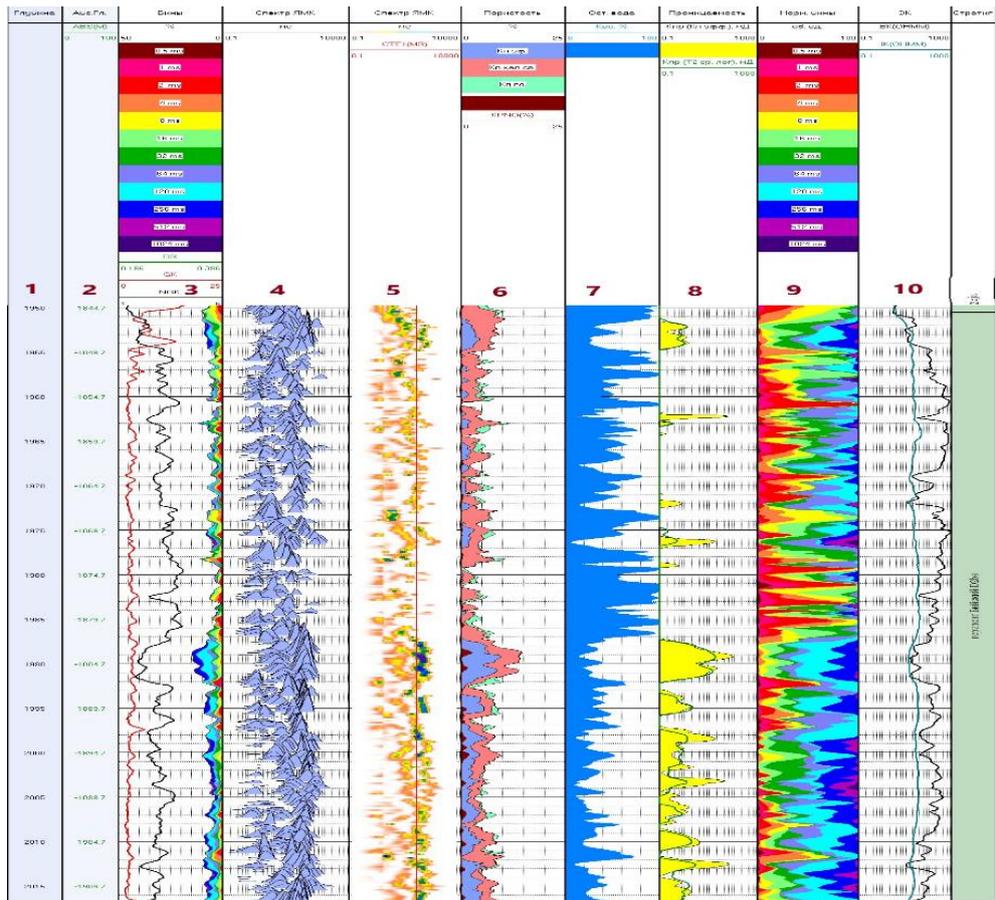


Рисунок 1 – Результаты метода ЯМК на Архангельском месторождении

По бинарной раскладке в породе присутствуют поры разного размера, от микро-пористости 2мс до пор мелкого и среднего размера с T2 от 100 до 128 мс. Более крупные поры, за исключением отдельных единичных пиков, практически отсутствуют.

С глубины 1986м порометрическая характеристика пород меняется. Спектр удлиняется, сине-фиолетовых бинов становится больше, что говорит о большем развитии кавернозности и трещиноватости пород. В интервале 1986-2016м отложения обладают лучшими ФЕС, что связано с удлинением спектра и появлением кавернозной составляющей.

В верхней части разреза, как показано на рисунке 1, по спектру ЯМК (колонка 5) видим увеличение количества водорода (появление синих бинов). Однако в связи с тем, что в данном интервале наблюдается широкий спектр (колонка 4), здесь фиксируется преимущественно связанная вода, т.к.

подразумевается, что ядра атомов связанной воды не могут повернуться и время, затрачиваемое на получение обратного импульса, увеличивается. В средней и нижней части разреза сине-фиолетовых бинов становится больше, и наблюдается сужение спектра, что указывает на увеличение эффективной пористости в породе.

Кп по разрезу сильно дифференцирован. Наибольшие значения Кп наблюдаются в средней части разреза в следующих интервалах 1987,9-1989,4 м; 1989,4-1990,2м; 1990,2-1991 м. Там же преобладают высокие значения эффективной пористости. Наибольшее значение по разрезу (по данным ЯМК) $K_p=14,5\%$, наименьшее $K_p = 4\%$. В нижней части разреза наблюдается расхождение данных методов ГГК-п и ЯМК. Значения Кп определенные по методу ГГК-п превышают значения пористости, определенные по методу ЯМК. Так как в данных интервалах отсутствуют керновые данные, особое внимание уделяется породам, содержащим флюид с высоким газовым фактором. Важно отметить, что метод ЯМК может занижать значения Кп. Причина этого явления кроется в особенностях калибровки аппаратуры ЯМТК, которая проводится по воде. Применяется бак с водой, как модель 100 % пористости, а присутствие газа в зоне исследования аппаратуры может привести к снижению регистрируемой пористости пластов.

Результаты корреляционного анализа данных Кп по керну и ЯМК, говорят о том, что коэффициент корреляции равен 0,98. Коэффициент корреляции по керну и ГГК-п равен 0,94.

Полученные результаты указывают на лучшую корреляцию данных ЯМК с керновыми материалами, по сравнению с оценками по методу ГГКп. Данный факт позволяет считать ЯМК эффективным инструментом получения данных о величинах полной и эффективной пористости, которые необходимы для оценки начальных запасов залежей УВ. Отметим также, что в ходе выполненных исследований в нижней части разреза на глубинах 2004,2-2006,8.м, 2015,3-2017,5 зафиксированы значительные различия в

показаниях ЯМК и ГГКп. Отсутствие в этих интервалах кернового материала не позволяет на данном этапе разведочного бурения в полной мере разобраться в преимуществах (либо недостатках) ЯМК.

В подглаве 3.3 «Определение проницаемости» приведены результаты определения проницаемости на Архангельском месторождении с учетом петрофизической связи между эффективной пористостью и проницаемостью (модель Тимура-Коатеса).

К оценке коэффициента проницаемости карбонатных отложений бийского возраста привлекаются материалы лабораторных исследований керна и данные метода гамма-гамма плотностного каротажа, с использованием известной зависимости коэффициентов проницаемости пород от их пористости (K_p).

Модель Тимура-Коатеса использует петрофизические связи между эффективной пористостью и проницаемостью:

$$K_{пр} = a * K_p^b (K_{п.эф.}/K_{п.кап.св.})^c,$$

где $K_{п.эф.}$ - эффективная пористость, занятая свободным флюидом, $K_{п.кап. св.}$ - содержание капиллярно-связанной воды, a, b, c - эмпирические константы, значения которых подбираются для каждого типа пород на основе соответствующих лабораторных измерений на образцах этих пород. Для бийских отложений изучаемой площади: $a=12,2^4$, $b=4$, $c=2$. Коэффициент «а» был определен в лабораторных условиях в процессе предварительных исследований кернового материала, коэффициенты «b» и «с» обычно принимаются равными 4 и 2.

Сравнение полученных данных в интервалах глубин 1954,7-1955,3 м, 1955,3- 1957,0 м, 1987,9- 1989,4 м. показывает, что по материалам ЯМК в бийских отложениях наблюдается высокая сходимость с керновыми данными. Коэффициент корреляции равен 0,99. По материалам ГГКп коэффициент корреляции значительно ниже и равен 0,77.

Отметим, что результаты получены для пропластков малой толщины, которая варьировалась от 0,6 до 2,2 м, что особенно важно при отсутствии высококачественного выноса керна и слабой чувствительностью стандартного комплекса методов ГИС к структуре порового пространства горных пород.

Полученные материалы указывают на низкую информативность стандартного подхода к оценке коэффициента проницаемости бийских отложений с использованием зависимости $K_{пр}=f(K_{п})$. Материалы ЯМК, напротив, максимально приближены к характеристикам проницаемости пород по керну.

В подглаве 3.4 описываются результаты определения характера насыщения пород-коллекторов на месторождении. Для оперативной оценки характера насыщенности использовалась исследования ЯМК и корреляции типа «ГИС – ГИС» (ЯМК – УЭС - удельное электрическое сопротивление) с применением петрофизических связей, полученных по результатам лабораторного анализа керна. Для оценки насыщенности использовались следующие оперативные критерии:

1. Оценка присутствия средних по вязкости фракций остаточной нефти и их величины. Индекс остаточной нефтенасыщенности средних по вязкости фракций УВ – ($K_{п \text{ ост.нефти}}$ (обозначается K_{PNO}), -это прогнозная доля пористости, соответствующая остаточной нефти средней вязкости.

2. Сопоставление УЭС – $K_{п}$ ЯМК. Данное сопоставление основано на стандартной оценке различия водоносных и нефтегазонасыщенных пластов по УЭС. График сопоставления УЭС по БК с $K_{п}$ по ЯМТК для общей пористости приведен на рисунке 2, где выделяется три зоны, отделенные для наглядности линиями при разных значениях коэффициента водонасыщенности K_v (1 – синий цвет; 0.5 – красный цвет; 0.25 – бордовый цвет).

Выделяемые зоны: 1 – ниже синей линии коллекторы наполнены водой; 2 – между синей и красной линией – вода с газом; 3 – выше красной линии – продукт (нефть/газ).

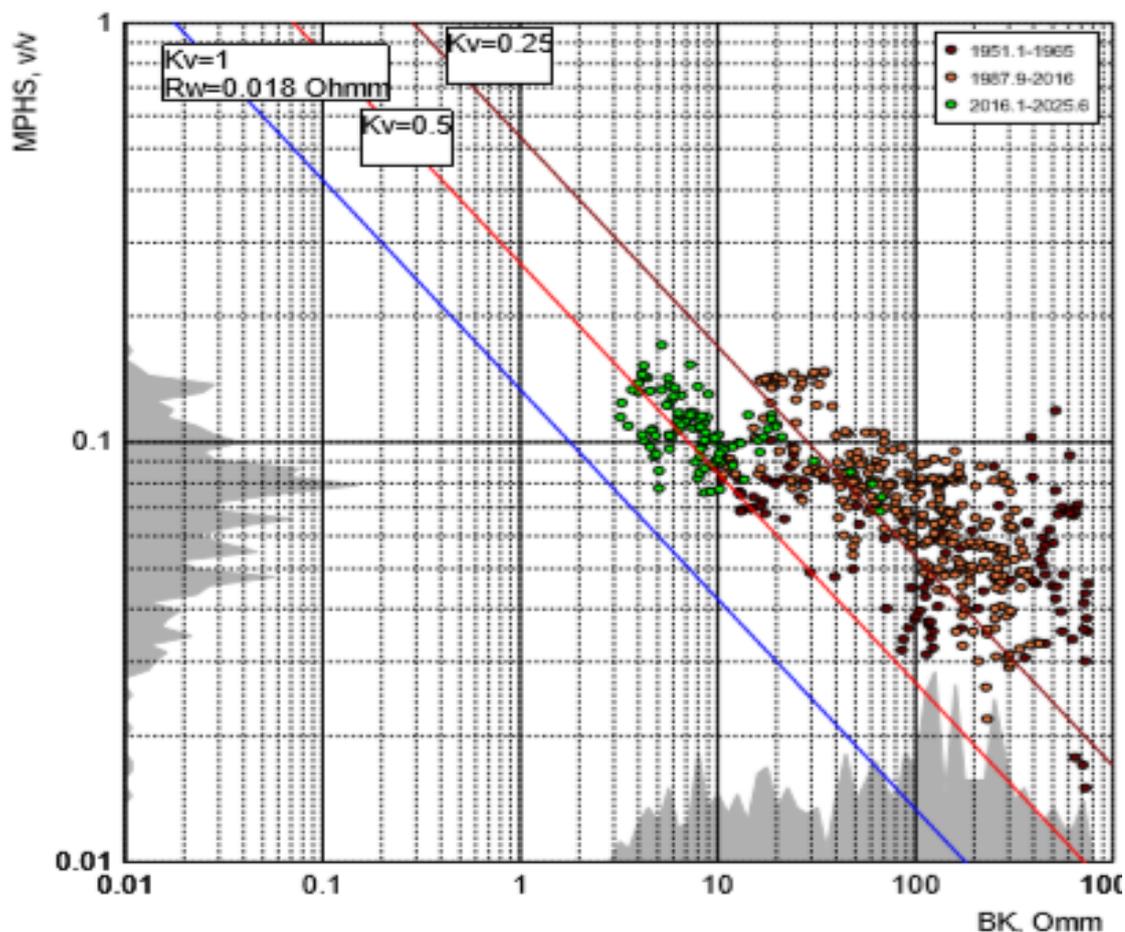


Рисунок 2 – Сопоставление УЭС БК с $K_{п}$ ЯМТК в интервале 1987 – 2018 м

Точки на графике оранжевого и бордового цвета - это две пачки бийского горизонта в интервалах 1961,1-1965 м и 1967,9-2016 м; точки зеленого цвета – породы койвенского горизонта, которые в рамках данной работы не рассматриваются. По распределению данных на графике можно сделать вывод, что проницаемые прослои бийского горизонта продуктивны.

Данные, определенные по ЯМК и по стандартному комплексу ГИС, соответствуют друг другу. Согласно им, весь пласт бийский отложений продуктивный, в большей или меньшей степени, что соответствует результатам испытания пластов (ИПТ) на Архангельском месторождении.

Заключение. В работе изучены геологическая характеристика

Архангельского месторождения; порядок обработки и интерпретация метода ЯМК; определены ФЭС и характер насыщения пород-коллекторов методом ЯМК. Наибольшие значения K_p наблюдаются в средней части разреза в следующих интервалах 1987,9-1989,4 м; 1989,4-1990,2м; 1990,2-1991 м. Там же преобладают высокие значения эффективной пористости. Наибольшее значение по разрезу (по данным ЯМК) $K_p=14,5$ %, наименьшее $K_p = 4$ %. В нижней части разреза наблюдается расхождение данных методов ГГК-п и ЯМК. Значения K_p определенные по методу ГГК-п превышают значения пористости, определенные по методу ЯМК. Полученные результаты указывают на лучшую корреляцию данных ЯМК с керновыми материалами, по сравнению с оценками по методу ГГКп. Данный факт позволяет считать ЯМК эффективным инструментом получения данных о величинах полной и эффективной пористости, которые необходимы для оценки начальных запасов залежей УВ.

По материалам ЯМК по коэффициенту проницаемости в бийских отложениях наблюдается высокая сходимость с керновыми данными. Коэффициент корреляции равен 0,99. По материалам ГГКп коэффициент корреляции значительно ниже и равен 0,77 в интервалах глубин 1954,7-1955,3 м, 1955,3- 1957,0 м, 1987,9- 1989,4 м. Отметим, что результаты получены для пропластков малой толщины, которая варьировалась от 0,6 до 2,2 м, что особенно важно при отсутствии высококачественного выноса керна и слабой чувствительностью стандартного комплекса методов ГИС к структуре порового пространства горных пород.

Полученные материалы позволили считать достигнутой основную цель работы, связанную с определением фильтрационно-емкостных свойств и характера насыщения отложений бийского горизонта с помощью ЯМК.

В дальнейшем представляется целесообразным проведение ЯМК в сложных геологических условиях с целью уточнения области применения и возможного включения этого метода в стандартный комплекс методов ГИС.

