



СВЯЗЬ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕФТИ С ЕЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ И ЯМР-ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

А.А. Мезин¹, М.И. Шумскайте¹, Н.А. Голиков^{1,2,3}, А.И. Бурухина^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия,

³Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 2, Россия,
e-mail: mezinaa@jpgg.sbras.ru

В работе представлены результаты аналитического обзора изучения свойств горных пород и насыщающих их флюидов методом диэлектрической спектроскопии, а также экспериментальных работ по исследованию их КДП и ЯМР-характеристик. Установлена связь комплексной диэлектрической проницаемости нефти с ее геохимическими свойствами и ЯМР-характеристиками.

Диэлектрическая проницаемость; петрофизические параметры; порода-коллектор; релаксационные характеристики; ядерный магнитный резонанс

RELATION OF INTEGRATED DIELECTRIC PERMEABILITY OF OIL WITH ITS PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND NMR CHARACTERISTICS

A.A. Mezin¹, M.Y. Shumskayte¹, N.A. Golikov^{1,2,3}, A.I. Burukhina^{1,2}

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

²Novosibirsk State University, Pirogova Str., 1, Novosibirsk, 630090, Russia,

³Novosibirsk State Technical University, 630073, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, Russia,
e-mail: mezinaa@jpgg.sbras.ru

The paper presents the results of an analytical review of the study properties rocks and their saturating fluids by dielectric spectroscopy, as well as experimental studies of their complex dielectric constant and NMR characteristics. The connection of the complex dielectric constant of oil with its geochemical properties and NMR characteristics is established.

Dielectric permeability; petrophysical parameters; reservoir rock; relaxation characteristics; nuclear magnetic resonance

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных тенденций в развитии интерпретационной базы лабораторных исследований керна является комплексирование данных методов, основанных на разных физических принципах. К такому подходу можно отнести совместную интерпретацию данных диэлектрической спектроскопии и

ЯМР-релаксометрии при изучении флюидонасыщенных образцов. Как известно, на ЯМР-параметры влияют размеры частиц матрицы образца, а диэлектрические характеристики слабо от них зависят. При этом вязкость жидкости сильно оказывает влияние и на ЯМР-параметры, и на диэлектрические характеристики. Поэтому применение комплекса методов ЯМР-релаксометрии и диэлектрической спектроскопии позволит улучшить результаты изучения определения структуры порового пространства образца и физико-химические характеристики насыщающей его жидкости.

При измерении ЯМР-параметров происходит намагничивание образца постоянным магнитным полем, после этого подается 90° импульс для поворота вектора макроскопической намагниченности. Магнитное поле, в котором находятся протоны, неоднородно, что связано с влиянием магнитных полей, создаваемых окружающими частицами. Поэтому после прекращения действия 90° импульса ядра начинают прецессировать с разными угловыми скоростями – происходит расфазировка спинов. В результате этого общая намагниченность снижается и катушка приемника, измеряющая ее в поперечном направлении, фиксирует затухающий сигнал свободной прецессии (так называемый спад свободной прецессии). Через промежуток времени t подается 180° импульс, разворачивающий углы фаз и таким образом компенсирующий эффект дефазирования. Когда спины вновь приобретают одну и ту же фазу, возникает так называемый сигнал спинового эха, регистрируемый катушкой приемника. Также 180° импульсы подавляют рост новой продольной поляризации. Используя серию 180° импульсов, подаваемых через равные промежутки времени (TE), получаем релаксационную кривую – огибающую амплитуд сигналов спинового эха. Последовательный ряд импульсов, состоящий из одного 90° и следующей за ним серии 180° импульсов, называют последовательностью CPMG (Carr-Purcell-Meiboom-Gill Pulse Sequence – по именам ее создателей). [Carr, Purcell, 1954; Meiboom, Gill, 1958; Коатес и др., 2001; Dunn et al., 2002].

Обычно при проведении экспериментального изучения частотной зависимости комплексной диэлектрической проницаемости (КДП) образца перед изучением выбирают частотный диапазон исследования. Выбор частотного диапазона определяется прибором измерения, механическими свойствами материала образца, влияющими на возможность его обработки для подготовки образца к изучению, и типом измерительной ячейки.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

В низкочастотной области спектра (от 100 Гц до 1 МГц) традиционно применяют конденсаторный метод с использованием измерителя импеданса. В этом случае используется образец в виде пластин или цилиндров. Применение конденсаторного метода наиболее подробно описано в книге [Брандт, 1963]. Автором отмечается несколько способов измерения КДП:

- с использованием плоского конденсатора, состоящего из двух плоскопараллельных электродов в форме дисков, между которыми размещается образец;
- с использованием плоского конденсатора, частично заполненного исследуемым образцом (образец занимает лишь центральную часть пространства между электродами конденсатора);
- с использованием конденсаторов сферической или цилиндрической форм, состоящих из двух обкладок цилиндрической или сферической поверхностей, между которыми располагается образец.

При использовании конденсаторного метода необходимо учитывать условие квазистационарности [Брандт, 1963].

$$R \leq 0,24\lambda/(2\pi\sqrt{\varepsilon}), \quad (1)$$

где R – радиус обкладок, λ – длина волны электрического поля, ε – диэлектрическая проницаемость образца.

Для цилиндрического и сферического конденсатора условие состоит в том, что средняя длина окружности между обкладками конденсатора должна быть меньше длины волны электрического поля в образце.

Важной особенностью конденсаторных ячеек является возможность менять рабочую емкость в несколько раз путем изменения геометрических параметров конденсатора. Однако необходимо учитывать электродную поляризацию, когда имеется непосредственный контакт образца с измерительными электродами. Многие исследователи отмечают факт влияния электродной поляризации на полученные значения действительной части КДП на частотах $10^4 - 10^5$ Гц [Valeev, Parkhomenko, 1965; Sus et al., 1971; Chelidze et al., 1977].

Т.М. Левицкая в своей работе [Levitskaya, 1996] объясняет появление поляризации электродов возникновением двойного электрического слоя на границе раздела твердое тело-электролит. Автор определяет следующие способы формирования двойного электрического слоя:

- ионный слой формируется путем ионного перехода из раствора в твердую фазу и обратно;
- адсорбционный слой является результатом контактной адсорбции нереагирующих ионов электролита на твердой незаряженной поверхности (нереагирующий электролит означает, что он не отрывает ионы от твердой фазы);
- ориентационный тип слоя состоит из дипольных молекул воды. Некоторые из них ориентированы и удерживаются в поровом пространстве вблизи поверхности твердой фазы, образуя слой сильно связанной воды. Поле и остаточные электростатические силы слоя приводят к тому, что дополнительная вода образует слабосвязанный слой, ориентированный на заряд. Эти два слоя образуют ориентационный тип электрического двойного слоя, называемого связанной водой, который имеет некоторые особенности.

В зависимости от электролита преобладают один или два вида двойных электрических слоев. Иногда может возникнуть двойной электрический слой со всеми тремя типами. Независимо от того, какой механизм образует электрический двойной слой, он имеет одинаковую структуру.

Многими исследователями были предложены способы ослабить или устранить эффект электродной поляризации [Scott et al., 1967; Levitskaya, 1996; Wakamatsu, 1997; Gomez-Sanchez, Felice, 2012]. Так, например, Т.М. Левицкая [Levitskaya, 1996] предлагает следующие приемы:

- отделение образца от электрода с помощью тонкой полимерной пленки. Анализ экспериментальных данных показал, что применение данной методики позволяет значительно уменьшить влияние электродной поляризации при условии, что толщина пленки соответствует электрической емкости плоского конденсатора, превышающей электрическую емкость образца;

– отделение образца от электрода воздушным зазором. Этот прием удобен при изучении жидкостей, при изучении твердых образцов добавление воздушного промежутка приводит к устранению лишь одного приэлектродного слоя.

J.H. Scott предложил методику для уменьшения влияния электродной поляризации с использованием в качестве электродов платинированной пластины, а в качестве прокладки – промокательную бумагу, насыщенную слабым электролитом серебра. Прокладки, насыщенные раствором серебра и хлорида серебра, минимизируют накопление ионов на электродах и тем самым уменьшают влияние электродной поляризации на измеряемые значения КДП [Scott et al., 1967].

На частотах выше 50–100 МГц длина волны электрического поля становится сопоставимой с размерами экспериментальных ячеек и конденсаторные методы неприменимы, поэтому используются волноводные методы. Эти методы измерения КДП основаны на использовании отрезков линий передачи, используются волноводы прямоугольного или круглого сечения, либо коаксиальные линии. В зависимости от задач экспериментальных исследований и частотного диапазона применяется та или иная структура [Брандт, 1963; Воробьев и др., 1977].

Прямоугольные волноводы представляют собой полые трубы прямоугольного сечения, удобные для заполнения исследуемым веществом. Однако, чтобы исследовать широкий диапазон частот, необходимо использовать несколько ячеек разных размеров, так как коэффициент перекрытия по частоте (отношение максимальной частоты к минимальной) у таких волноводов около 1,5 (табл. 1).

Таблица 1

Параметры прямоугольных волноводов

Обозначение диапазона	Размеры поперечного сечения волновода, а (см) x b (см)	Рабочий диапазон при воздушном заполнении, ГГц
L	16,510×8,255	1,12 – 1,70
W	10,922×5,461	1,70 – 2,60
S	7,710×3,403	2,60 – 3,95
C	4,754×2,214	3,95 – 5,85
X	2,286×1,016	8,20 – 12,4
K	1,067×0,432	18,0 – 26,5
Q	0,569×0,284	33,0 – 50,0

В 1970-х гг. для измерения КДП стали использовать векторные анализаторы цепей, определяя параметры комплексной матрицы рассеяния. Современный вариант метода обработки результатов приведен в работе [Quéffélec et al., 2002].

В 2011 г. омские исследователи предложили использовать коаксиальную ячейку в виде цилиндрического конденсатора и определять комплексный коэффициент передачи в частотном диапазоне 50 кГц – 4 ГГц. Для измерения в верхней части диапазона (500 кГц – 4 ГГц) образец помещался в коаксиальную ячейку и определялся комплексный коэффициент передачи, а в нижней части частотного диапазона образец помещался в конденсаторную ячейку, включаемую в разрыв центрального проводника коаксиальной линии большого сечения [Эпов и др., 2011; Беляева и др., 2014; Bobrov et al., 2015; Шумскайте и др., 2016; Lapina et al., 2017].

Таким образом, для разных частотных диапазонов и типов измеряемого образца существуют определенные методики определения диэлектрической проницаемости. При проведении экспериментов нами была выбрана измерительная ячейка в виде цилиндрического конденсатора. Выбор ячейки, как выше было написано, исходил из используемого измерительного прибора, а именно LCR GWInstek, а также возможности изготовления.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ОБРАЗЦОВ НЕФТИ

Проведены экспериментальные измерения КДП шести образцов нефти (табл. 2) с использованием измерительной ячейки в виде цилиндрического конденсатора и измерителя импеданса в частотном диапазоне 0,2 – 5000 кГц (рис. 1).

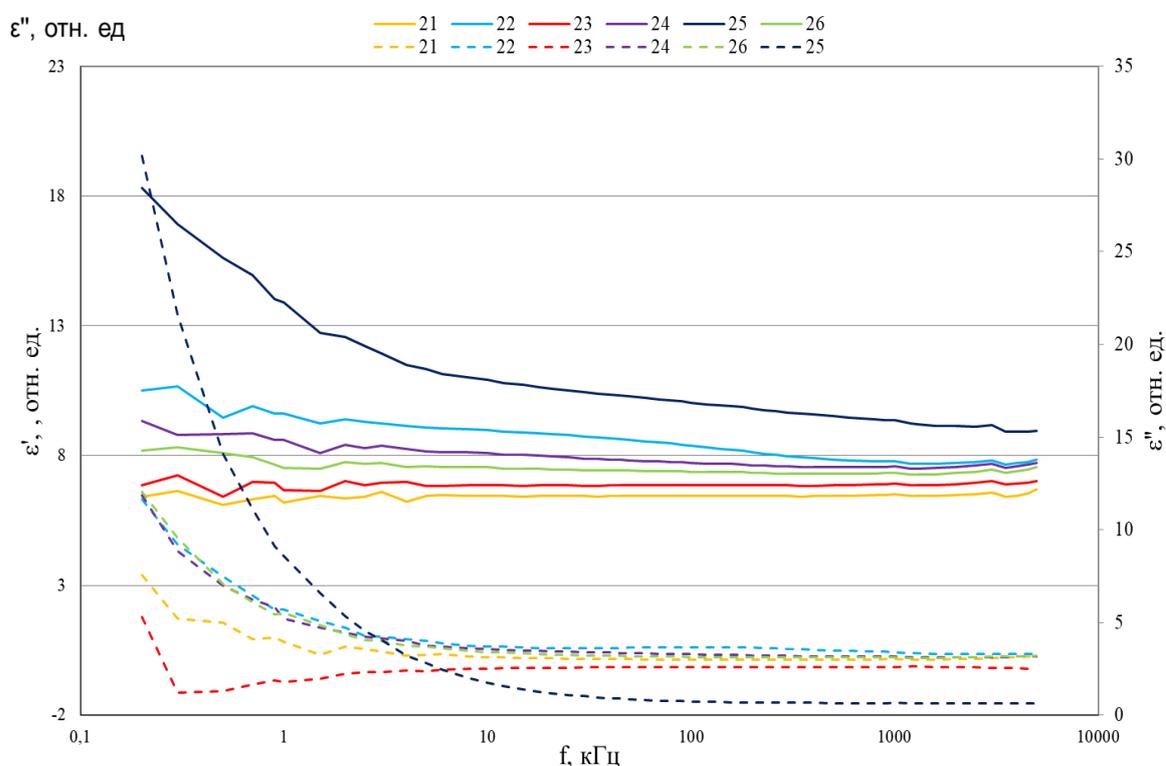


Рис. 1. Зависимость компонент КДП от частоты (сплошная линия – действительная часть КДП (ϵ'), пунктирная – мнимая часть КДП (ϵ''))

Значения ε' , плотности и вязкости образцов нефти

№ пробы	Месторождение	Плотность, г/см ³	Вязкость, мм ² /с		ε' на соответствующей частоте		
			при 20 °С	при 60 °С	875 кГц	1,75 МГц	3,5 МГц
21	Восточно-Бованенковское	0,81	3,19	1,64	6,49	6,47	6,43
22	Пайяхское	0,81	2,02	1,30	7,79	7,69	7,66
23	Левобережное	0,84	4,00	–	9,39	9,15	8,91
24	Куюмбинское	0,83	8,57	–	6,89	6,88	6,89
25	Пихтовое	0,91	не опр.	20,90	7,32	7,30	7,33
26	Ванкорское	0,84	3,40	–	7,57	7,53	7,54

В табл. 2 представлены данные экспериментов на выделенных частотах, соответствующих частотам проводимых в скважине методом ВЭМКЗ. Результаты исследований показывают наличие частотной дисперсии КДП, что необходимо учитывать при интерпретации полученных данных, поскольку при измерении на длинных зондах значение КДП будет выше, чем при измерении на коротких. С увеличением вязкости и плотности флюида, насыщающего породу, различие растёт.

По данным, представленным на рис. 1 и в табл. 2, видно влияние плотности и вязкости образца на значение действительной части КДП на разных частотах измерения – с увеличением вязкости (рис. 2) и плотности (рис. 3) растёт и действительная часть КДП. Вероятно, это обусловлено тем, что более вязкие нефти содержат больше смолисто-асфальтеновых соединений, у которых величина диэлектрической проницаемости выше. Так на частоте 1 кГц значения ДП образцов № 21 и 25 отличаются на 56 %, на 1 МГц – на 35 %, а на 5 МГц – на 25 % при отличиях в плотности 13 %, при этом вязкость отличается больше, чем на порядок. Образцы №№ 23, 24 и 26 имеют близкие значения плотности, но значения вязкости отличаются до 60 %, соответственно, и значения КДП во всем диапазоне частот отличаются от 2–9 % на высоких частотах до 12–26 % на низких.

Плотности образцов № 21 и 22 одинаковы, а вязкость образца № 21 выше вязкости образца № 22 на 58 %. На всем частотном диапазоне ε' образца № 22 выше значений ε' образца № 21. Отсюда можно сделать вывод, что различие в КДП обусловлены различием состава образцов.

По графикам на рис. 2 можно увидеть две области с линейной зависимостью, а именно образцы с вязкостью менее 4 мм²/с и более. Таким образом получаем, что при вязкости образца менее 4 мм²/с КДП уменьшается при увеличении вязкости по уравнениям:

$$\varepsilon' = -1,9928\eta + 13,502; R^2 = 0,7369 \text{ – при } f = 1 \text{ кГц,}$$

$$\varepsilon' = -0,4703\eta + 8,7101; R^2 = 0,3511 \text{ – при } f = 5 \text{ МГц.}$$

А для образцов с большей вязкостью (>4 мм²/с) зависимость обратная:

$$\varepsilon' = 0,1891\eta + 6,4177; R^2 = 0,9789 \text{ – при } f = 1 \text{ кГц,}$$

$$\varepsilon' = 0,0486\eta + 7,0485; R^2 = 0,9401 \text{ – при } f = 5 \text{ МГц,}$$

где η [мм²/с] – вязкость жидкости.

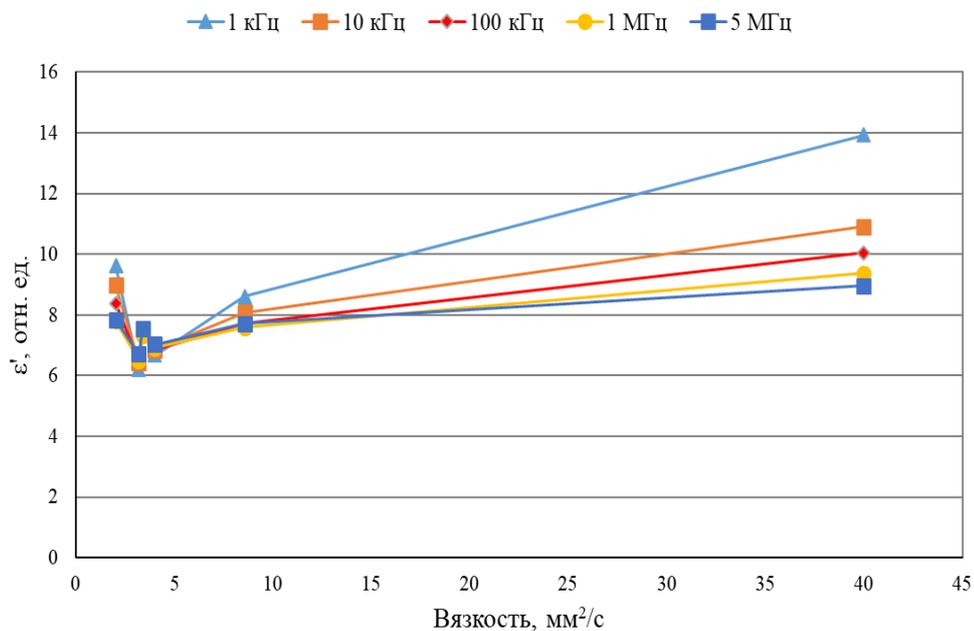


Рис. 2. Зависимость действительной части КДП от вязкости образца на разных частотах

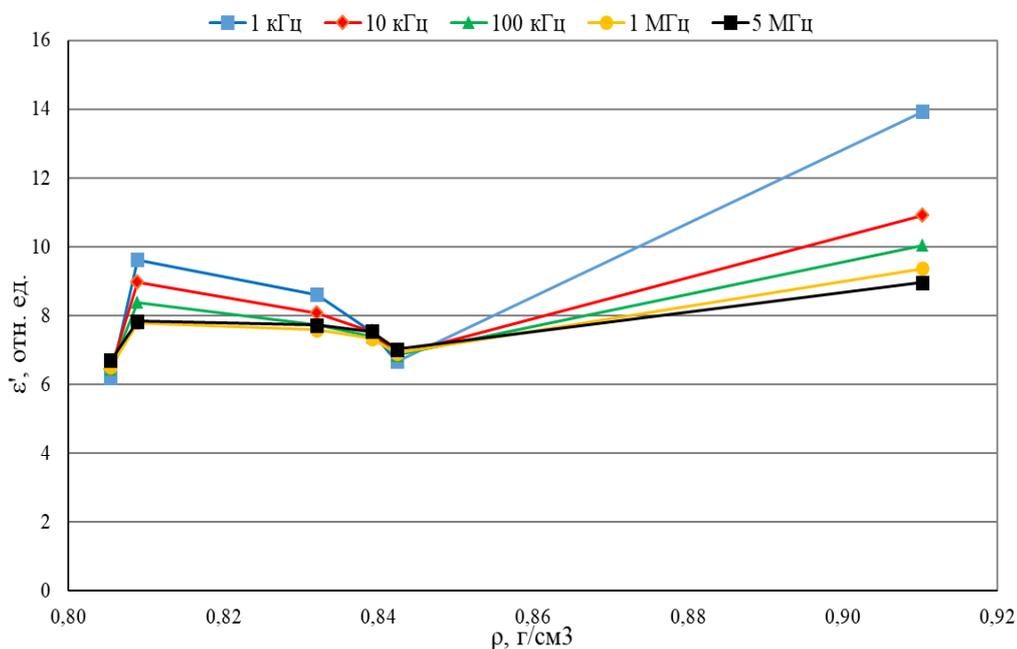


Рис. 3. Зависимость действительной части КДП от плотности образца на разных частотах

По графику на рис. 3 можно также увидеть две области с линейной зависимостью: образцы с плотностью менее 0,84 г/см³ и более. Таким образом получаем, что при плотности образца менее 0,85 г/см³ КДП уменьшается при увеличении плотности и зависимость принимает вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon' &= 58,682\rho - 40,52; R^2 = 0,622 \text{ – при } f = 1 \text{ кГц,} \\ \varepsilon' &= 16,319\rho - 6,0731; R^2 = 0,6239 \text{ – при } f = 5 \text{ МГц,} \end{aligned}$$

где ρ [г/см³] – плотность образца.

С более высокой плотностью (>0,84 г/см³) исследовались только два образца, поэтому для выявления зависимости необходимо провести дополнительные исследования.

Таким образом, зависимости действительной части КДП от вязкости и плотности имеют две области с изменением наклона на образце № 23 с плотностью 0,84 г/см³ и вязкостью 4 мм²/с. Для объяснения данного эффекта нужно провести дополнительное исследование. Полученные данные согласуются с результатами измерений методом ЯМР-релаксометрии.

ЯМР-ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАЗЦОВ ИССЛЕДУЕМОЙ НЕФТИ

На образцах нефти также выполнены экспериментальные исследования ЯМР-характеристик. Изучение свойств нефти методом ЯМР-релаксометрии возможно в силу того, что данный метод чувствителен к наличию смолисто-асфальтеновых соединений: чем их больше, а значит, выше плотность и вязкость образца, тем меньше времена поперечной релаксации (рис. 4, 5).

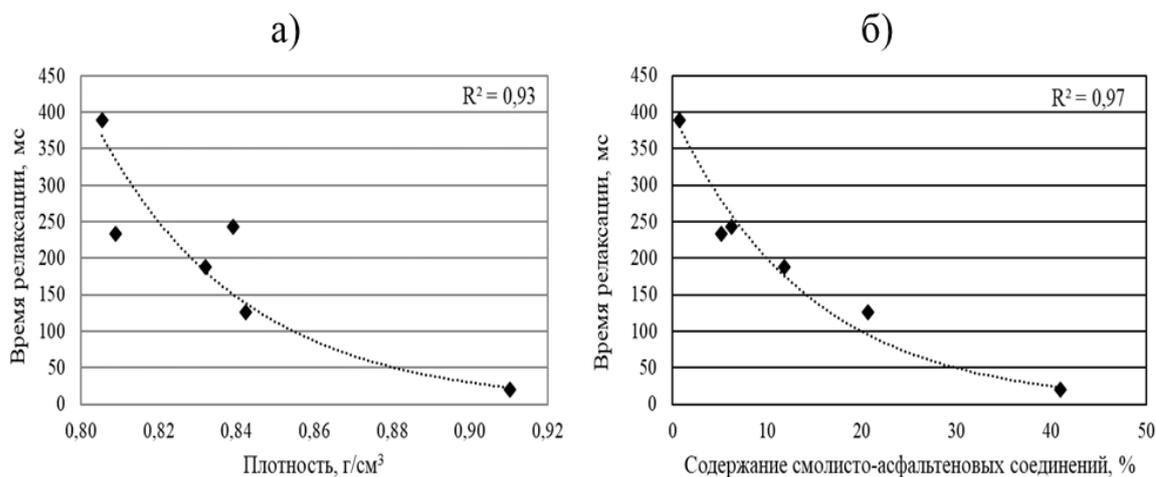


Рис. 4. Зависимость времени поперечной релаксации от плотности (а) и содержания смолисто-асфальтеновых соединений (б) (табл. 2)

На рис. 4 видно, что для наименее вязкой нефти (образец № 21) время релаксации составляет 390 мс, водородосодержание 96 %. Наиболее вязкая нефть – образец № 25, времена релаксации всего 20 мс, водородосодержание 79 %. По ЯМР-данным содержание смолисто-асфальтеновых соединений, которые наиболее сильно влияют на времена релаксации, в образце № 21 менее 1 %, тогда как в образце № 25 более 40 %. Полученные результаты согласуются с данными диэлектрической спектроскопии – реальная часть КДП образца № 25 наибольшая, образца № 21 наименьшая (табл. 2, 3).

Спектры образцов №№ 22, 24 и 26 отличаются незначительно. Содержание смолисто-асфальтеновых, ароматических и насыщенных соединений в них примерно одинаковое, КДП по данным диэлектрической спектроскопии также отличается незначительно (7,3–7,8). Времена релаксации составляют порядка 200–250 мс, водородосодержание – 85–90 %.

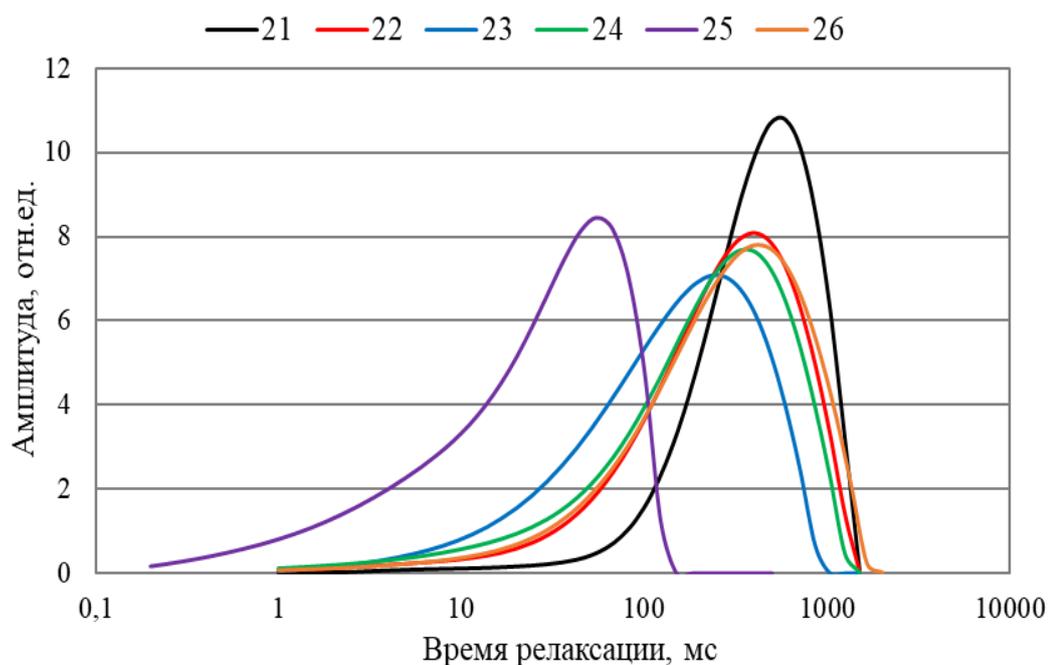


Рис. 5. Спектры времен поперечной релаксации образцов нефти

Таблица 3

Групповой состав изученных образцов нефти по ЯМР-данным

№	Смолисто-асфальтеновые соединения	Ароматические соединения	Насыщенные УВ
21	0,74	7,32	91,94
22	5,16	36,80	58,03
23	20,59	44,23	35,17
24	11,79	17,73	30,70
25	40,93	38,77	1,46
26	6,18	58,36	35,46

Сопоставляя диэлектрический и ЯМР-методы, можно отметить, что их результаты напрямую зависят от содержания смолисто-асфальтеновых соединений в составе нефти, которое определяет и вязкость изучаемых образцов. Таким образом значения ДП нефти опосредованно связаны с ее вязкостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований показывают, что методы диэлектрической спектроскопии и ЯМР-релаксометрии являются чувствительными к наличию смолисто-асфальтеновых соединений. Наличие подобных соединений затрудняет свободное движение молекул во флюиде и, следовательно, приводит к ускорению релаксационных процессов, уменьшению времен релаксации и увеличению комплексной диэлектрической проницаемости. Показано, что результаты методов диэлектрической спектроскопии, ЯМР-релаксометрии и жидкостной хроматографии согласуются.

Экспериментально установлено, что диэлектрическая спектроскопия и ЯМР-релаксометрия взаимно дополняют друг друга и являются перспективными для петрофизических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Беляева Т.А., Бобров П.П., Миронов В.Л., Родионова О.В.** Зависимости диэлектрической проницаемости связанной воды в бентоните от влажности и температуры // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11, № 3. – С. 288–300.
- Брандт А.А.** Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. – М.: Физматгиз, 1963. – 404 с.
- Воробьев Е.А., Михайлов В.Ф., Харитонов А.А.** СВЧ диэлектрики в условиях высоких температур – М.: Советское радио, 1977. – 208 с.
- Коатес Д., Хиао Л., Праммер М.** Каротаж ЯМР. Принципы и применение. – Хьюстон: Халлибуртон Энерджи Сервисез, 2001. – 342 с.
- Шумскайте М.Й., Бобров П.П., Лапина А.С.** Изменение диэлектрической проницаемости и ЯМР-сигнала влажных порошков кварцевых гранул при увеличении и уменьшении водонасыщенности // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – № 5. – С. 15–20.
- Эпов М.И., Бобров П.П., Миронов В.Л., Репин А.В.** Диэлектрическая релаксация в глинистых нефтесодержащих породах // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 9. – С. 1302–1309.
- Bobrov P.P., Yashchenko A.S., Rodionova O.V., Repin A.V., Lapina A.S.** The electrical characteristics of the rocks with different texture // Progress in electromagnetics research symposium proceedings – 2015. – Vol. 1. – P. 1881–1884.
- Carr H.Y., Purcell E.M.** Effects of diffusion on free precession in nuclear magnetic resonance experiments // Physical review. – 1954. – Vol. 94. – P. 630–638.
- Chelidze T.L., Derevyanko A.I., Kurilenko O.D.** Electrical spectroscopy of heterogeneous systems. – Kiev: Naukova dumka, 1977. – P. 9–215.
- Dunn K.J., Bergman D.J., LaTorracca G.A.** Nuclear magnetic resonance. Petrophysical and logging application. – London: PERGAMON, 2002. – 294 p.
- Gomez-Sanchez J.A., Felice C.J.** Description of corrections on electrode polarization impedance using isopotential interface factor // Journal Electrical Bioimpedance. – 2012. – Vol. 3. – P. 29–35.
- Lapina A.S., Bobrov P.P., Golikov N.A., Repin A.V., Shumskayte M.Y.** Hysteresis of the NMR response and the complex relative permittivity of the quartz granules powders and solid sandstones during the water imbibition and drainage // Measurement science and technology. – 2017. – Vol. 28, No. 1. – P. 014007.
- Levitskaya T.M., Sternberg B.K.** Polarization processes in rocks 1. Complex dielectric Permittivity method // Radio science. – 1996. – No. 4. – P. 755–779.
- Meiboom S., Gill D.** Modified spin-echo method for measuring nuclear relaxation times // Review scientific instruments. – 1958. – Vol. 29. – P. 688–691.
- Quéffélec P., Mallégo S., LeFloc'h M.** Automatic measurement of complex tensorial permeability of magnetized materials in a wide microwave frequency range // IEEE transactions on microwave theory and techniques. – 2002. – Vol. 50, No. 9. – P. 2128–2134.

Scott J.H., Carroll R. D., Cunningham D. R. Dielectric constant and electrical conductivity measurements of moist rock: a new laboratory method // Journal of Geophysical Research. – 1967. – Vol. 72, No. 20. – P. 5101–5115.

Sus A.N., Berezin V.V., Borovkova I.P. Dielectric permittivity measurement of high conductivity substances // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Fiz. – 1971. – No. 9. – P. 133–135.

Valeev K.A., Parkhomenko E.I. Electrical properties of rocks in constant and variable electric fields // Izv. Phys. Solid Earth. – 1965. – Vol. 1. – P. 803–806.

Wakamatsu H. A dielectric spectrometer for liquid using the electro-magnetic induction method // Hewlett-Packard Journal. – 1997. – No. 48. – P. 37–44.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

МЕЗИН Андрей Алексеевич – младший научный сотрудник лаборатории многомасштабной геофизики ИНГГ СО РАН. Область научных интересов: диэлектрическая релаксация, комплексная диэлектрическая проницаемость.

ШУМСКАЙТЕ Мария Йооновна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории многомасштабной геофизики ИНГГ СО РАН. Область научных интересов: ядерный магнитный резонанс, петрофизические параметры пород-коллекторов, физико-химические свойства пластовых флюидов, газовые гидраты.

ГОЛИКОВ Никита Александрович – старший научный сотрудник лаборатории многомасштабной геофизики ИНГГ СО РАН. Область научных интересов: исследования горных пород для обоснования интерпретации данных скважинной геофизики.

БУРУХИНА Александра Ильинична – магистрант 2-го года обучения, инженер лаборатории нефти и газа ИНГГ СО РАН. Область научных интересов: геология и геохимия нефти и газа, биогеохимия, методы исследования нефтей и органического вещества