

© М.Т.Абасов, Р.А.Мусаев, А.И.Асадов, Р.Г.Аллахвердиева, 2010

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ПОРИСТОЙ СРЕДЫ НА НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАСТА

М.Т.Абасов, Р.А.Мусаев, А.И.Асадов, Р.Г.Аллахвердиева

*Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

В статье экспериментально рассмотрено влияние минерального состава породы на электропроводность, параметры пористости и насыщения пласта. Для опытов были подобраны породы с различными фракционным и минеральным составами. Корпус модели пласта был изготовлен из органического стекла в виде трубки, в которую на входе и выходе вмонтированы электроды из нержавеющей стали. Установлено, что наличие глинистых и карбонатных пород в скелете пористой среды существенно влияет на электрофизические параметры модели пласта.

Важнейшей задачей, стоящей в настоящее время перед нефтяной промышленностью Азербайджана, является увеличение коэффициента извлечения нефти (КИН) из истощенных или разработанных с применением заводнения месторождений, которые содержат значительные количества остаточной нефти. Подавляющая часть таких месторождений приурочена к коллекторам низкой проницаемости, характеризующимся сложным строением продуктивных пластов, значительными размерами водонефтяных зон и повышенной вязкостью нефти. К подобной категории пластов относится и содержащая большие запасы неизвлеченной нефти кирмакинская свита (КС) – один из основных объектов разработки продуктивной толщи Абшеронского полуострова. В таких трудноизвлекаемых условиях внедрение гидродинамических и физико-химических методов воздействия на пласт в большинстве случаев оказывается малоэффективным или же неэффективным. В связи с этим в ряде работ отмечается, что в сложных геолого-физических условиях практически отсутствует фактор напорной фильтрации, подчеркивается доминирование диффузионно-осмотического (Симкин, 1979) и электрокинетического (Большаков, 1995) факторов при протекании жидкости.

Многочисленными исследованиями установлено, что при воздействии на нефтяной пласт магнитным, акустическим и волновыми полями возможно изменить пористость и проницаемость коллекторов, физические свойства

пластовых флюидов и повлиять на условия фильтрации жидкостей в пористой среде.

В теоретическом аспекте влияние электрического поля на изменение проводимости среды и дебита добывающих скважин рассмотрено в работах (Мирзаджанзаде и др., 1982; Ростовский, Селяков, 1989; Аbruкин, 1994).

Экспериментально установлено, что наличие внешнего электрического поля оказывает существенное влияние на физико-химические показатели воды (Абасов и др., 2006), адсорбцию и десорбцию химических продуктов (Абасов и др., 2008) и коэффициент вытеснения нефти водой (Абасов и др., 2009).

Исходя из изложенного, определенный интерес представляет изучение влияния минерального состава породы на электропроводность, параметры пористости и насыщения пласта.

С этой целью была сконструирована специальная экспериментальная установка, позволяющая производить измерения напряжения и сила тока с помощью универсального источника питания УИП-2. Корпус модели пласта был изготовлен из органического стекла в виде трубки, в которую на входе и выходе вмонтированы электроды из нержавеющей стали.

Для опытов были подобраны породы с различными фракционным и минеральным составами (см. таблицу 1).

Как видно из таблицы 1, подобранные породы сильно отличаются друг от друга по фракционному и минеральному составу. Песок из абшеронского яруса характеризуется высо-

ким содержанием карбонатных пород (35,5%), а содержание глинистых частиц составляет примерно 15%. Пористость и проницаемость пористой среды, составленной из этого песка, составляет соответственно 30-32% и 1,73 мкм². В отличие от песка абшеронского яруса, песок кирмакинской свиты содержит до 27,5% глинистой фракции при карбонатности не более 12,7%. Имеющиеся в составе песка КС фракции меньших размеров (до 60%) уменьшают его проницаемость по воздуху до 0,15 мкм². Для сопоставления опыты проводились также на кварцевом песке.

Предварительно было определено влияние концентрации хлористого натрия на электропроводность дистиллированной воды.

Методика проведения опытов заключается в следующем: через колонку, заполненную дистиллированной водой или же растворами хлористого натрия, пропускается постоянный электрический ток с напряжением (U) 10 вольт и определяется сила тока (I), после чего по закону Ома подсчитывается сопротивление (R) раствора:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Удельное электрическое сопротивление определялось по формуле:

$$r = \frac{RF}{L} \quad (2)$$

где F и L – соответственно площадь поперечного сечения и длина колонки.

Отметим, что удельная электропроводность представляет собой величину, обратную удельному электрическому сопротивлению, и определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{1}{r} \quad (3)$$

Как известно, дистиллированная вода практически не обладает электропроводностью, однако за счет растворения в ней хлористого натрия, полученные растворы становятся хорошими проводниками электрического тока (табл.2).

Таблица 1

Характеристики пород

Породы	Фракционный состав, %						Глинистость, %	Карбонатность, %	Плотность, кг/м ³	Пористость, %	Проницаемость, мкм ²
	>0,5	0,5-0,25	0,25-0,15	0,15-0,1	0,1-0,075	<0,075					
Кварцевый песок	-	7,65	74,00	17,80	1,73	0,20	-	-	2620	32-33	1,16
Порода кирмакинской свиты (КС)	-	8,00	29,90	50,60	9,50	1,90	27,5	12,7	2650	30-31	0,15
Порода абшеронского яруса	5,24	50,80	27,90	11,60	2,60	1,80	15,3	35,5	2670	30-32	1,73

Таблица 2

Удельная электропроводность раствора в зависимости от концентрации хлористого натрия

Концентрация NaCl в дистиллированной воде, %	0	5	8	10	12	14
Удельная электропроводность $10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	0,6	9,2	14,5	16,0	19,2	19,8

Затем экспериментальная колонка заполнялась исследуемой породой, насыщалась дистиллированной водой или же растворами хлористого натрия с целью определения влияния минерального состава скелета пористой среды на электропроводность.

Данные, представленные на рисунке 1, показывают, что при проведении опытов с использованием кварцевого песка (кривая 1) зависимость электропроводности водонасыщенной породы от электропроводности воды имеет линейный характер. В случае, когда в скелете пористой среды присутствуют глинистые и карбонатные минералы, кривые зависимости (кривые 2-5) пересекаются с осью ординат. Из этого следует, что присутствие частиц различных минералов и глины приводит к уменьшению электропроводности породы по сравнению с чистым кварцевым песком. Так, например, при электропроводности воды, насыщающей пористую среду, в $15,0 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ электропроводность пористой среды, составленной из чистого кварцевого песка, равна $3,7 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, в то же время этот показатель для пород продуктивной толщи Абшера составляет примерно $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, т.е. показатель уменьшается на $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. При этом чем выше электропроводность насыщающей пористую среду воды, тем больше разница между электропроводностями кварцевого песка и пород кирмакинской свиты и абшеронского яруса.

При использовании в опытах чистого кварцевого песка пористая среда, общие и эффективные поровые каналы которой насыщены водой и гидродинамически связаны между собой, обладает более высокой электропроводностью, чем при использовании горных пород.

Отметим, что на электропроводность определенное влияние оказывает смачиваемость породы и распределение в пористой среде воды. Вода в поровых каналах пористой среды может находиться в связанном и несвязанном свободном состояниях.

Из анализа кривых зависимостей, представленных на рис.1, также видно, что электропроводность горных пород продуктивной толщи Абшера, содержащих в своем составе определенное количество различного типа глин и карбонатных пород больше (кривые 2,3), чем кварцевого песка, содержащего 10 и 30% монтмориллонитовой глины. Присутствующие в составе кварцевого песка глинистые частицы при наличии жидкости составляют весьма сложную электрическую систему, состоящую из положительно и отрицательно заряженных частиц. Положительно заряженными в глине оказываются металлические ионы K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Отрицательный заряд несут собственно глинистые частицы. Поэтому при пропускании электрического тока через насыщенную жидкостью породу, содержащую глинистые частицы, происходят обмен ионами между глинистыми частицами и раствором хлористого натрия, адсорбционные процессы и электрофорез, оказывающие существенное влияние на электропроводность пористой среды. При этом чем ниже электропроводность воды, тем ниже электропроводность породы, т.е. электропроводность пористой среды повышается с увеличением концентрации хлористого натрия в воде.

Эксперименты показали, что удельная электропроводность породы при заданном значении проводимости воды больше в чистых кварцевых песках, а самая наименьшая – в пористой среде, которая составлена из 30% мон-

томориллонитовой глины и 70% кварцевого песка. Отсюда можно прийти к выводу, что присутствие глины в породе закупоривает некоторые поровые капилляры, через которые проходит электрический ток, и в результате ухудшается электропроводность пористой среды. Указанный фактор имеет большое значение при выборе оптимального напряжения тока при воздействии на пласт электрическими полями.

Как известно, одним из основных физических параметров горных пород является их относительное сопротивление, т.е. параметр пористости (P_{II}).

В связи с этим полученные в опытах экспериментальные данные обработаны, следуя из зависимости параметра пористости (P_{II}) от удельного электрического сопротивления воды (r_B) (рис.2). При этом отметим, что параметр пористости определяется по формуле:

$$P_I = \frac{r_{IA}}{r_A} \quad (4)$$

где, r_{IB} – удельное сопротивление породы, насыщенной водой, имеющей удельное сопротивление r_B .

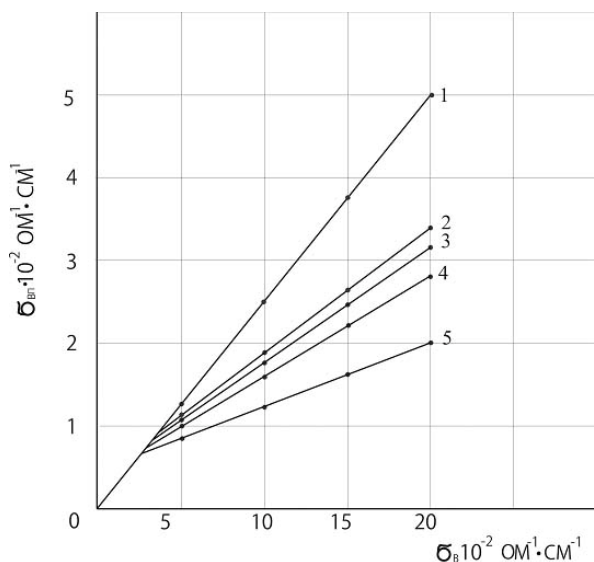


Рис. 1. Зависимость изменения удельной электропроводности породы от ее минерального состава и электропроводности насыщающей воды
Породы: кварцевый песок (1); порода кирмакинской свиты (2); порода Абшеронского яруса (3); кварцевый песок соответственно с добавкой 10 % (4) и 30 % (5) глины

Из этой зависимости видно, что изменение параметра пористости зависит от состава пород. Так, например, в случае, когда пористой средой служил чистый кварцевый песок (кривая 1), с увеличением удельного сопротивления воды параметр пористости оставался постоянным, а когда пористая среда состояла из кварцевого песка и соответственно 10 и 30% монтмориллонитовой глины (кривая 4,5), с увеличением r_B параметр пористости увеличивался. Когда пористая среда создана из породы кирмакинской свиты (кривая 2) с увеличением r_B до определенных значений, параметр пористости практически не меняется, а в дальнейшем уменьшается. Повидимому, это объясняется возрастанием в этих условиях толщины диффузионного слоя. Аналогичная закономерность наблюдается в случае, когда пористая среда состоит из пород абшеронского яруса (кривая 3). Однако при больших значениях удельного сопротивления воды параметр пористости больше, чем в случае пород кирмакинской свиты. Как видно из этих кривых, когда пористая среда состоит из пород, которые неоднородны по минеральному составу, параметр пористости при малых значениях удельного сопротивления воды, т.е. при низких значениях минерализации раствора изменяется незначительно, а при больших значениях r_B минеральный состав породы сильно влияет на параметр пористости. Поэтому при разработке нефтяных месторождений, в частности при воздействии электрическими полями, необходимо учитывать минеральный состав породы.

Как известно, для рациональной разработки нефтяных и газовых месторождений необходимо иметь точные сведения о водонефте- и газонасыщенности порового пространства породы. В связи с этим основным понятием при рассмотрении электрических свойств водонефтенасыщенных пористых пород является понятие о параметре насыщения (P_H), который определяется следующим уравнением:

$$P_H = \frac{r_{BHP}}{r_{IB}} \quad (5)$$

где r_{BHP} – удельное сопротивление водонефтенасыщенной породы, r_{IB} – удельное сопротивление породы, насыщенной водой.

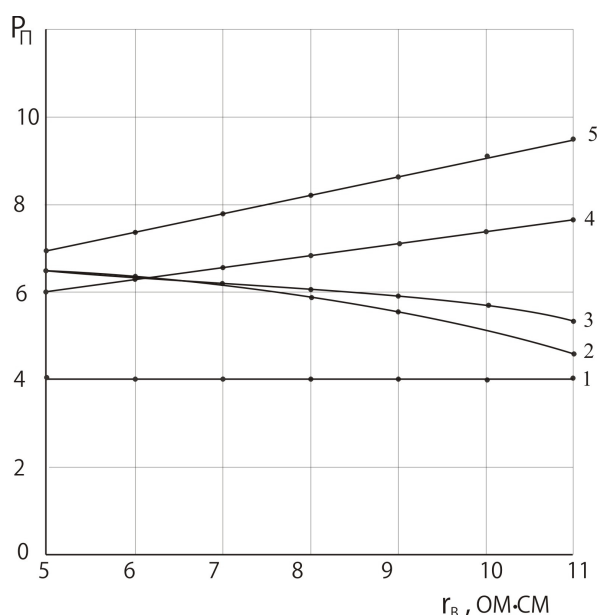


Рис. 2. Зависимость изменения параметра пористости от минерального состава породы и удельного электрического сопротивления насыщающей ее воды.

Породы: кварцевый песок(1); порода кирмакинской свиты (2); порода Абшеронского яруса (3); кварцевый песок соответственно с добавкой 10 % (4) и 30 % (5) глины.

С целью исследования влияния минерального состава породы на параметр насыщения были проведены эксперименты на различных по составу пористых средах (см. таблицу 1). В качестве жидкости использовалась пластовая вода и нефть, взятая из кирмакинской свиты, имеющие удельное электрическое сопротивление соответственно 40 Ом·см и $13 \cdot 10^{12}$ Ом·см.

В опытах водонефтенасыщенность создавалась путем вытеснения воды из пористых сред нефтью кирмакинской свиты, при различных значениях водонефтенасыщенности пласта определялась сила тока, а по формуле (1,2) подсчитывалось удельное электрическое сопротивление модели пласта. После этого по формуле (5) определялись параметры насыщения.

Результаты экспериментальных исследований обработаны в виде зависимости параметра насыщения от водонасыщенности пласта и представлены в виде кривых на рис.3. Как видно из кривых, независимо от состава пористой среды с увеличением водонасыщенности пористых сред параметр насыщения уменьшается. Необходимо также отметить, что при одинаковых условиях, т.е.

при одинаковой водонасыщенности минеральный состав пористых сред существенно влияет на параметр насыщения пласта. Представленные на рис.3 данные показывают, что параметр насыщения при заданном значении водонасыщенности наибольший у кварцевого песка (кривая 1), а наименьший – у пород кирмакинской свиты (кривая 4). Отсюда следует, что в гидрофильных породах (кривая 1,2) параметр насыщения больше, чем в частично гидрофобных (кривая 3,4). Это различие значений параметра насыщения для одних и тех же значений насыщенности для разных по составу пород, по-видимому, связано с неидентичным, т.е. разным распределением нефти и воды в порах модели пласта.

Результаты изложенных экспериментальных исследований указывают на существенное влияние минерального состава пород на их электропроводность, параметр пористости и параметр насыщения.

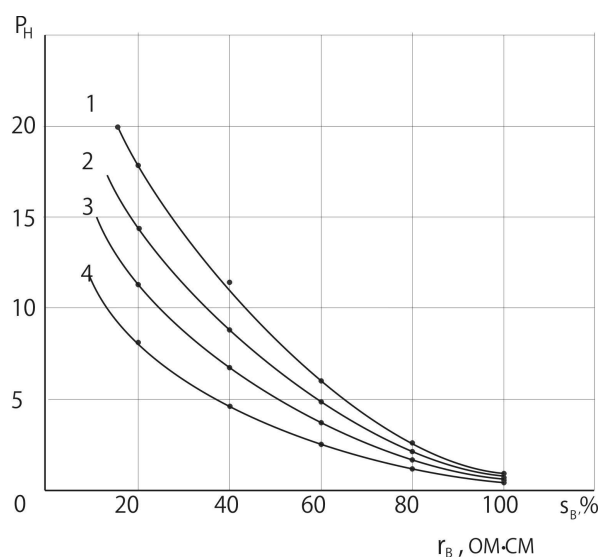


Рис. 3. Зависимость изменения параметра насыщения от минерального состава породы и водонасыщенности пористой среды.

Породы: кварцевый песок (1); кварцевый песок с добавкой 10 % глины (2), Порода абшеронского яруса (3); порода кирмакинской свиты(4)

Выводы:

1. Экспериментально установлено влияние концентрации насыщающего пористую среду водного электролита, а также степеней глини-

стости и карбонатности на электропроводность модели пласта.

2. Установлено, что при неоднородности породы на значение параметра пористости существенное влияние оказывают минеральный состав породы и концентрация водного электролита.

3. Выявлено, что минеральный состав пористой среды существенно влияет на параметр насыщения пласта; в гидрофильных породах этот параметр больше, чем в частично гидрофобных.

ЛИТЕРАТУРА

- АБАСОВ, М.Т., МУСАЕВ, Р.А., АСАДОВ, А.И., АЛЛАХВЕРДИЕВА, Р.Г. 2006. Исследование влияния электрического поля на повышение эффективности извлечения нефти из сильноглинистых пластов., *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 2, 75-79.
- АБАСОВ, М.Т., МУСАЕВ, Р.А., АСАДОВ, А.И., АЛЛАХВЕРДИЕВА, Р.Г. 2008. Исследование влияния электрического поля на адсорбцию и десорбцию водорастворимых поверхностно-активных веществ. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 2, 97-104.
- АБАСОВ, М.Т., МУСАЕВ, Р.А., АСАДОВ, А.И., АЛЛАХВЕРДИЕВА, Р.Г. 2009. Исследование влияния электрического поля на механизм вытеснения нефти водой. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 3, 27-31.
- АБРУКИН, А.Л. 1994. Влияние электрофизических процессов в нефтяных пластах на коэффициенты продуктивности скважин. *Нефтяное хозяйство*, 6, 41-45.
- БОЛЬШАКОВ, Ю.Я. 1995. Теория капиллярности нефтегазонакопления. Изд. СО РАН. Новосибирск, 220.
- МИРЗАДЖАНЗАДЕ, А.Х., СИМКИН, Э.М., ГЛАЗУНОВА, А.В. 1982. Экспериментальное исследование потенциалов фильтрации в модельных углеводородных жидкостях. *Известия вузов. Нефть и Газ*, 10, 53-55.
- РОСТОВСКИЙ, Н.С., СЕЛЯКОВ, В.П. 1989. Изменение дебита скважины при пропускании через нее электрического тока. *Физико-техн. проблемы разработки полезных ископаемых*, 5, 114-118.
- СИМКИН, Э.М. 1979. Роль электрокинетических явлений в процессах фильтрации. *Нефтяное хозяйство*, 3, 53-56.