

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ ОСАДКОГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ СОСТАВОВ ЧЕРЕЗ ПОРИСТЫЕ СРЕДЫ

П.О.Рзаев

*Институт геологии НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29A*

Приводятся результаты экспериментальных исследований особенностей фильтрации осадкообразующих составов через пористые среды. Установлено, что характер фильтрации осадкогелеобразующих составов в пористых средах определяется конформационными изменениями макромолекул полимера, зависящими от концентрации щелочи и полимера в составе, от минерализации растворителя и вод, насыщающих пористую среду, от скорости фильтрации и от взаимодействия осадкогелеобразующих составов с пористой средой.

Введение

Одной из технологий, позволяющих повысить эффективность обработок призабойных зон скважин (ПЗС) за счет снижения проницаемости промытых зон призабойной части пласта и уменьшения степени его неоднородности, является применение осадкогелеобразующих составов (ОГОС) (Салаватов и др., 2000, Сафонов и Алмаев, 1996). К числу таких технологий можно отнести обработку ПЗС ОГОС на основе водорастворимых полимеров и щелочей (Габдрахманов и др., 1992). Данная технология основана на использовании реакции между двумя реагентами в пласте, которые при смешении взаимодействуют между собой и пластовой водой и образуют в ПЗС осадок и гель, препятствующие попаданию воды в скважину. Кроме того, как отмечается в работах (Березин и др., 1990, Сафонов и Алмаев, 1996), эффективность применения ОГОС на основе водорастворимых полимеров и щелочей существенно повышается благодаря присутствию полимера, обладающего флокулирующими свойствами и позволяющего связывать отдельные образующиеся в пласте дисперсные частицы между собой и породой пласта и тем самым еще более повышать эффект изоляции.

Эффективность обработок ПЗС ОГОС при этом будет зависеть не только от объема получаемого продукта реакции, перекрывающего каналы фильтрации, но и от реологических и фильтрационных характеристик ОГОС.

Методика проведения экспериментов, полученные результаты и их обсуждение

Исследования фильтрационных характеристик ОГОС проводились на несцементированных пористых средах. В качестве модели пористой среды использовался кварцевый песок. Проницаемость пористой среды составляла $1,2 \text{ мкм}^2$.

При приготовлении ОГОС использованы технический поликариламид (ПАА) молекулярной массой $1,35 \cdot 10^6$ и NaOH. ОГОСы готовились на дистиллированной и пресной воде с общей минерализацией 2,64 мг-экв. Концентрации ПАА и NaOH в ОГОС изменились соответственно от 0,05 до 0,15 % и от 0,1 до 0,75 %.

Фильтрационные характеристики ОГОС в пористой среде, насыщенной той же самой водой, что и растворитель (дистиллированная или пресная вода), на котором приготовлен исследуемый ОГОС, с концентрацией ПАА 0,05% и NaOH 0,1; 0,12; 0,25; 0,75%, в виде зависимости фактора сопротивления (R), определенного по формуле, предложенной (Руе, 1964), от скорости фильтрации представлены в табл. 1. Результаты обработки экспериментальных данных в виде зависимости R от скорости фильтрации также приведены в табл. 1.

Как показали опыты, ОГОС, приготовленные на дистиллированной воде, фильтруются через пористую среду без затухания фильтрации как псевдопластические жидкости при всех рассмотренных концентрациях

щелочи (R снижается с увеличением скорости фильтрации, см. столбцы 2,3,4,5, а также результаты обработки экспериментальных данных табл.1). С увеличением концентрации щелочи в ОГОС R снижается (ср. столбцы 2,3,4,5).

ОГОС, приготовленные на пресной воде, также движутся через пористые среды как псевдопластические жидкости (R снижается с увеличением скорости фильтрации, см. столбцы 6,7,8,9, а также результаты обработки экспериментальных данных табл.1). R у ОГОС на

пресной воде при тех же концентрациях щелочи выше, чем у ОГОС на дистиллированной воде (ср. столбцы 2, 3, 4, 5 с 6, 7, 8, 9 табл. 1) и с увеличением концентрации щелочи в составе снижается.

На рис. 1 показаны значения фактора сопротивления в зависимости от концентрации щелочи, полученные при одной и той же скорости фильтрации через пористую среду ОГОС с концентрацией ПАА 0,05-0,15% и едкого натра 0,1-0,75%.

Таблица 1

Зависимость фактора сопротивления для ОГОС (ПАА-0,05%, NaOH -0,1 0,12; 0,25; 0,75%, растворитель) от скорости фильтрации

Скорость фильтрации, 10 ⁻⁴ м/с	Тип растворителя								
	Дистиллированная вода				Пресная вода				
	Концентрация щелочи								
	0.1	0.12	0.25	0.75	0.1	0.12	0.25	0.75	
Фактор сопротивления									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0.15									12
0.3						17			10
0.5	5.5	5.16	4.5	4.09			18		7.75
0.7					21.5	12.5			
0.85					16.75	11.2	14.25		7.25
1	5	4.82	4.12	3.8			12		
1.2	4.62	4.46	3.85	3.6	13.25	9.25	8.75		
1.6					11	8	6.75		6.25
2	4.36	4.18	3.62	3.4	9	7			
2.6	4.13	4	3.46	3.26	8	6			
2.8					8		5.05		6.25
3.2	4	3.82	3.3	3.09					
3.7						5.2	4.5		6.25
4.2	3.82	3.6	3.13	3					
4.5	3.75	3.58	3.1	2.9		4.75			6.25
5.5	3.7	3.52	3.03	2.89					
5.9	3.7	3.5	3.01	2.88					
6		3.5	3	2.88					
7			3	2.87					
Зависимость R для ОГОС от скорости фильтрации									
	$R = \frac{4.908x}{xV^{0.17}}$	$R = \frac{4.686x}{xV^{0.1691}}$	$R = \frac{4.048x}{xV^{0.1674}}$	$R = \frac{3.738x}{xV^{0.1465}}$	$R = \frac{15.491x}{xV^{0.6962}}$	$R = \frac{9.872x}{xV^{0.4696}}$	$R = \frac{12.204x}{xV^{-0.7778}}$	$R = \frac{7.679x}{xV^{0.1883}}$	

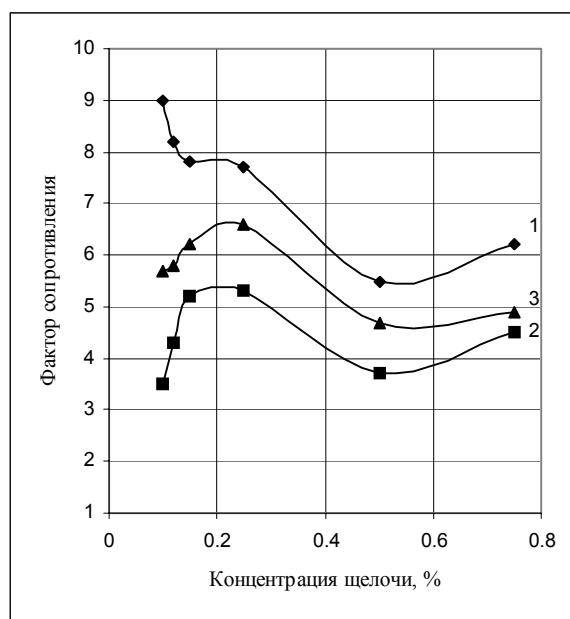


Рис. 1. Зависимость фактора сопротивления от концентрации щелочи в ОГОС при постоянной скорости фильтрации при концентрации ПАА, % : кр.1- 0,05; кр. 2- 0,075; кр. 3 - 0,15

Как видно из рис. 1, зависимость фактора сопротивления от концентрации щелочи и полимера в ОГОС при одной и той же скорости фильтрации имеет нелинейный характер.

На основе полученных экспериментальных данных были также рассчитаны кривые течения в виде зависимости напряжения сдвига (τ) от скорости сдвига (γ), которые затем были обработаны согласно степенному закону Оствальда-Де Вале (Рейнер, 1965). При этом скорость сдвига при движении ОГОС в пористой среде определяли по формуле (Григорашенко и др., 1978):

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{r}, \text{ где } v - \text{скорость фильтрации ОГОС в ПЗ, м/с;}$$

r – радиус порового канала.

Радиус порового канала определяли по формуле (Гиматудинов, 1974):

$$r = \frac{2}{7 \cdot 10^5} \sqrt{\frac{k\varphi}{m}}, \text{ где } k - \text{проницаемость пористой среды, } \mu\text{м}^2;$$

φ - структурный коэффициент;

m - пористость пласта.

Результаты расчетов в виде кривых течения и кажущейся вязкости приведены соответственно на рис. 2, 3, 4, а результаты обработки согласно степенному закону (реологические константы ОГОС) – в табл. 2.

Как показал анализ полученных данных (рис. 2, 3, 4 и табл.2), ОГОС-ы ведут себя в пористой среде как псевдопластические жидкости ($n < 1$ см, табл. 2). При сопоставлении полученных данных (рис.3) с данными в (Стреков и др., 2001) видно, что кажущаяся вязкость ОГОС в пористой среде выше, чем вискозиметрическая при тех же скоростях сдвига.

Анализ полученных данных и литературного материала (Григорашенко и др., 1978) показал, что многие особенности течения ОГОС через пористые среды связаны с конформационными изменениями макромолекул и их ассоциаций в результате сдвиговых деформаций, определяемых изменениями концентрации щелочи и полимера в ОГОС, а также характером их взаимодействия с пористой средой.

Так, например, как показали вискозиметрические исследования, ОГОС-ы из-за сдвиговой деформации макромолекул и их ассоциаций проявляют псевдопластические свойства. С другой стороны, при фильтрации ОГОС через пористые среды для каждой скорости фильтрации должно наступить динамическое равновесие между количеством удерживаемого и вымываемого из пористой среды осадка (Григорашенко и др., 1978, Стреков, 1989). Естественно, что это равновесие при различных скоростях фильтрации будет осуществляться при неодинаковом количестве удержанного пористой средой осадка. При высоких скоростях его будет меньше, чем при низких. Именно эти два фактора, по-видимому, и определяют псевдопластический характер течения ОГОС через пористые среды.

Большая величина фактора сопротивления у ОГОС на пресной воде по сравнению с ОГОС на дистиллированной воде (табл. 1) и кажущаяся вязкость (ср. рис. 3. с рис.4), по-видимому, связаны со следующими причинами. Как показано исследованиями, проведенными в работах (Везиров и др., 1989, Григорашенко и др., 1978, Стреков, 1989,

Стреков и др., 2001), рост фактора сопротивления у составов на основе полимера и щелочи на пресной воде по сравнению с составами, приготовленными на дистиллированной воде, связан с конформационными изменениями, происходящими с макромолекулами полимера. Наличие в пресной воде ионов поливалентных металлов приводит к сшивке макромолекул ПАА и образованию ассоциаций больших размеров. Движение крупных сшитых ассоциаций через пористую среду приводит к возникновению дополнительных сопротивлений и росту фактора сопротивления для ОГОС на пресной воде по сравнению с ОГОС на дистиллированной воде. Другой причиной снижения подвижности ОГОС на

пресной воде в пористой среде является сужение просветности и закупорка поровых каналов в результате выпадения в осадок частичек гидрата окиси кальция, связанных макромолекулами полимера в крупные агрегаты, образующиеся при взаимодействии щелочи, находящейся в составе, с поливалентными ионами металлов, содержащихся в пресной воде, насыщающей пористую среду (Григорашенко и др., 1978).

Снижение фактора сопротивления для ОГОС как на дистиллированной, так и на пресной воде с ростом концентрации щелочи в растворе объясняется уменьшением размеров макромолекул и их ассоциаций.

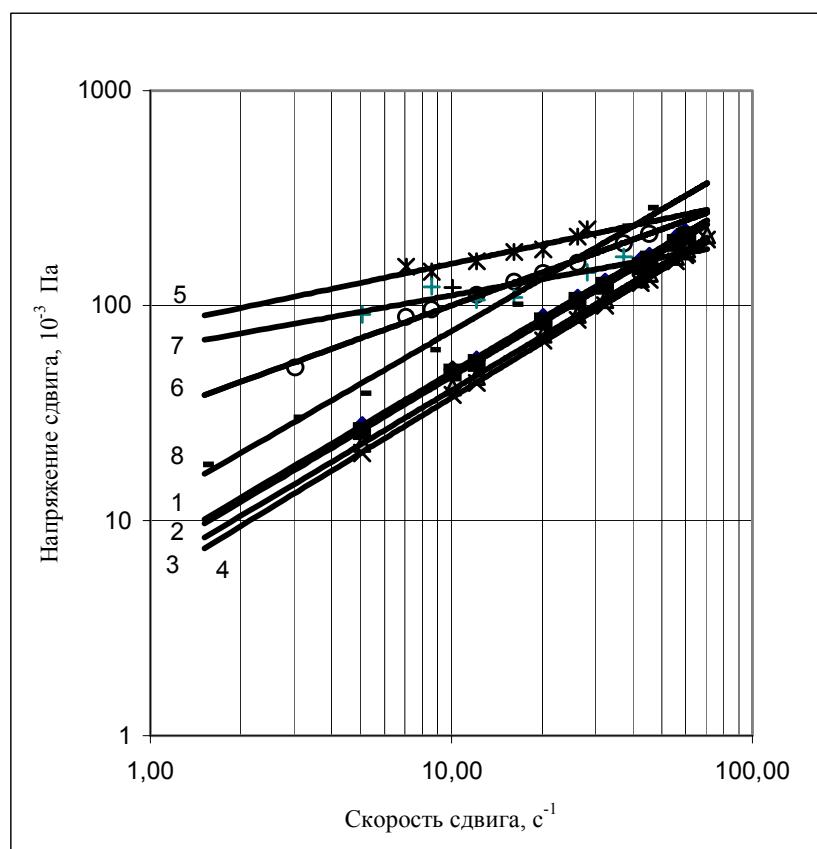


Рис. 2. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига для ОГОС на основе ПАА концентрацией 0,05 % и NaOH в различных растворителях при их движении через пористые среды:
а) в дистиллированной воде с концентрацией NaOH, %: 1- 0,1; 2- 0,12; 3-0,25; 4-0,75
б) в пресной воде с концентрацией NaOH, %: 5-0,1; 6- 0,12; 7-0,25; 8-0,75

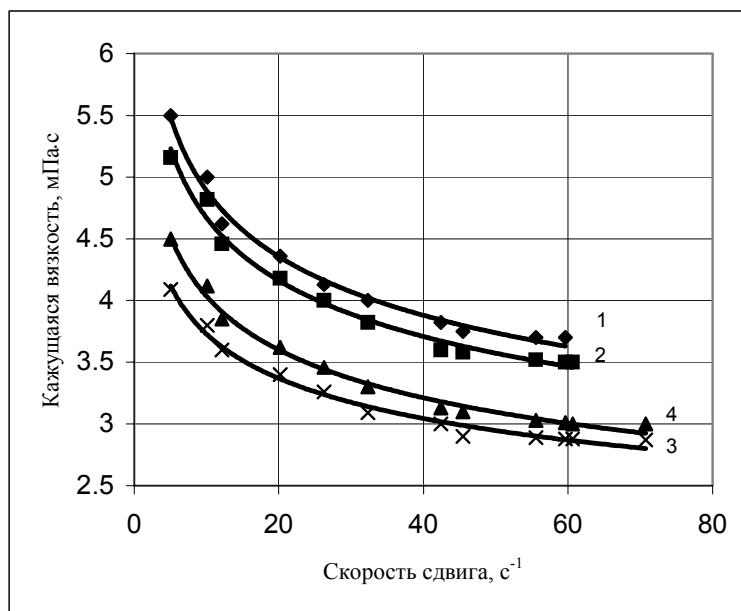


Рис. 3. Зависимость кажущейся вязкости ОГОС на дистиллированной воде от скорости сдвига при фильтрации через пористую среду и содержании в его составе ПАА 0,05% и едкого натра, %: 1-0,1; 2-0,12; 3-0,25; 4- 0,75

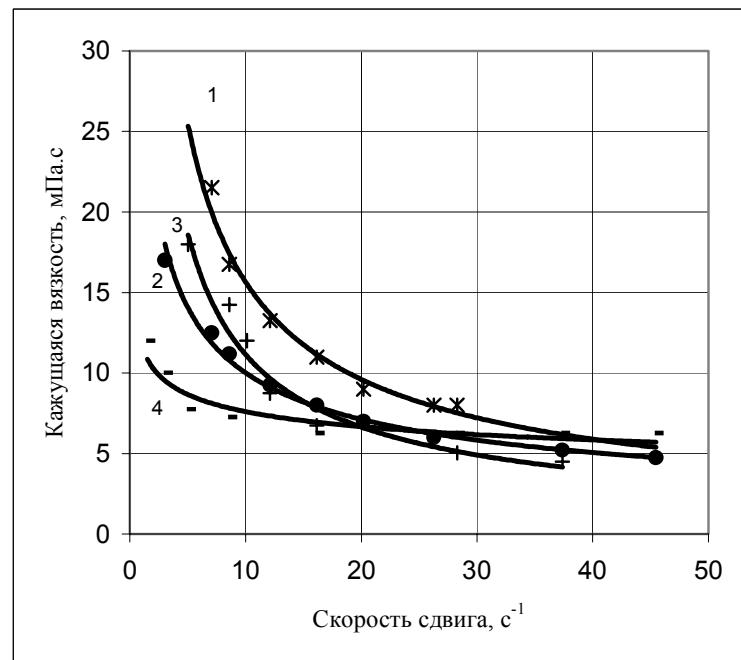


Рис. 4. Зависимость кажущейся вязкости ОГОС на пресной воде от скорости сдвига при фильтрации через пористую среду и содержании в его составе ПАА 0,05% и едкого натра, %: 1-0,1; 2-0,12; 3-0,25; 4-0,75

Таблица 2

Зависимость характера течения ОГОС (ПАА, NaOH, растворитель) в пористой среде от концентрации полимера, щелочи и типа растворителя

ОГОС		Тип растворителя			
Концентрация, %		Дистиллированная вода		Пресная вода	
ПАА	NaOH	Реологические константы			
		k	n	k	n
0,05	0,1	7.1819	0.8331	79.377	0.2951
	0,12	6.849	0.8337	31.092	0.508
	0,25	5.8957	0.8354	62.282	0.2531
	0,75	5.2206	0.8538	11.756	0.8108

Заключение

Проведенные исследования показали, что все многообразие поведения ОГОС в пористых средах определяется конформационными изменениями макромолекул полимера, зависящими от концентрации щелочи и концентрации полимера в составе, от минерализации растворителя и вод, насыщающих пористую среду, от скорости фильтрации и от взаимодействия ОГОС с пористой средой.

ЛИТЕРАТУРА

- БЕРЕЗИН, Г.В., ГОРБУНОВ, А.Т., ШВЕЦОВ, И.А. 1990. Основы полимерно-щелочного воздействия для увеличения нефтеизвлечения. *Нефтяное хозяйство*, 7, 27-29.
- ВЕЗИРОВ, Д.Ш., СТРЕКОВ, А.С., ДАДАШЕВ, А.М., ЦЫННИКОВА, С.Ц. 1989. Влияние конформации макромолекул полимера на реофизические свойства щелочно-полимерных растворов. *Известия АН Азерб. ССР. Серия наук о Земле*, 2, 16-23.
- ГАБДРАХМАНОВ, А.Т., АЛМАЕВ, Р.Х., КАШАПОВ, О.С. и др. 1992. Совершенствование метода повышения нефтеотдачи с помощью щелочно-полимерной системы. *Нефтяное хозяйство*, 4, 30-31.
- ГИМАТУДИНОВ, Ш.К. 1974. Физика нефтяного пласта. Недра, Москва.
- ГРИГОРАЩЕНКО, Г.И., ЗАЙЦЕВ, Ю.В., КУКИН, В.В., МАМЕДОВ, Ю.Г., МИРЗАДЖАНЗАДЕ, А.Х., ХАСАЕВ, А.М., ШВЕЦОВ, И.А. 1978. Применение полимеров в добывче нефти. Недра, Москва.
- РЕЙНЕР, М. 1965. Реология. Наука, Москва
- САЛАВАТОВ, Т.Ш., СУЛЕЙМАНОВ, Б.А., НУРЯЕВ, А.С. 2000. Селективная изоляция притока жестких пластовых вод в добывающих скважинах. *Нефтяное хозяйство*, 12, 81-83.
- САФОНОВ, Е.Н., АЛМАЕВ, Р.Х. 1996. Применение водоизолирующих химических реагентов. *Нефтяное хозяйство*, 2, 44-46.
- СТРЕКОВ, А.С., РЗАЕВ, П.О., МАДАТОВ, А.А. 2001. Изучение реофизических свойств осадкогелеобразующих составов. *Известия НАН Азербайджана, Науки о Земле*, 2, 44-48
- СТРЕКОВ, А.С. 1989. Механизм фильтрации щелочно-полимерных растворов через пористые среды. *Известия АН Азерб. ССР. Серия наук о Земле*, 5, 80-85.
- РҮЕ D.J. 1964. Improved secondary recovery by control of water mobility. *J. of Petrol. Tech.*, v.16, 8, 911-916.

Рецензент: д.т.н. Р.А.Мусаев