

УДК 622.276.66

Изучение взаимного влияния минерализации воды и содержания ионов бора в воде на качество получаемого геля для гидравлического разрыва пласта¹

Study Of Mutual Interaction Of Water Mineralization And The Content of Boron Ions in The Water on the Quality of Fracturing Gel

М.А. Силин, Л.А. Магадова, Л.Ф. Давлетшина, Л.А. Федорова, О.Ю. Ефанова, РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина

M. Silin, L. Magadova, L. Davletshina, L. Fedorova, O. Yefanova

Аннотация

В настоящее время в результате масштабного применения боратного сшивателя для приготовления гелеобразной технологической жидкости гидравлического разрыва пласта становится актуальной проблема накопления бора в пластовых водах. Взаимное влияние минерализации воды и содержания ионов бора в воде на качество получаемого геля для гидравлического разрыва пласта ранее никем не исследовалось. Таким образом, эта тема становится актуальной, особенно на месторождениях с большой историей проведения ГРП.

Annotation

At the moment the problem of accumulation of boron in formation waters has become a matter of profound importance as a result of large-scale application of borate cross-linker in the production of gel technological liquid for fracturing. Nobody has ever researched a mutual interaction of water mineralization and the content of boron ions in the water on the quality of fracturing gel. Thus, this theme is rather relevant, especially with regard to the field with big history of fracturing.

Ключевые слова: Бор, пластовые воды, технологические жидкости на водной основе, нейтрализация, полисахаридные загустители, минерализация, борсодержащие сшиватели.

Keywords: Boron, formation waters, technological liquids on water basis, neutralization, polysaccharide densifiers, mineralization, boron containing cross-linkers.

¹Проведение НИР в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.



Для приготовления технологических жидкостей на промысле применяются чаще всего подтоварные воды, качество которых зависит от состава сточных вод. Основным объемом сточных вод нефтепромыслов составляют пластовые и промливневые (технические, ливневые) воды [1]. Существенное влияние на качество технологических жидкостей с заданными параметрами оказывает ионный состав используемой воды, которую необходимо предварительно исследовать. Промысловый опыт показывает, что при приготовлении гелеобразных технологических жидкостей для гидравлического разрыва пласта (ГРП) использование минерализованной воды, содержащей в своем составе более 500 мг/л двухвалентных катионов (ионов Mg^{2+} , Ca^{2+} и др.), недопустимо, так как эти ионы за счет взаимодействия с гидроксильными группами препятствуют гидратации молекул полисахаридов и последующей сшивке их боратным сшивателем. Содержание ионов бора в воде, с помощью которой готовятся жидкости на полисахаридной основе для гидравлического разрыва пласта, негативно сказывается на таких характеристиках геля, как эффективная вязкость, пескоудерживающая способность, фильтрационные характеристики и другие. В пласте, где в нагнетательных и добывающих скважинах многократно проводились операции гидравлического разрыва пласта с применением полисахаридных жидкостей, с течением времени начинают накапливаться ионы бора [2].

Грузинскими учеными были выявлены зависимости содержания бора в воде от минерализации. В зависимости от типа воды содержание в ней бора меняется от 9 до 507 мг/л. Была выявлена тенденция накопления иона бора в хлоридных водах. Наиболее благоприятными для накопления бора оказались соленые, хлоридно-натриевые, хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые воды [3]. Однако взаимное влияние минерализации воды и содержания ионов бора в воде на качество получаемого геля для гидравлического разрыва

пласта ранее никем не исследовалось. Таким образом, эта тема становится актуальной, особенно на месторождениях с большой историей проведения ГРП.

Для исследования было принято решение использовать воду Арланского и Ромашкинского месторождений Волго-Уральской нефтегазодобывающей провинции, где за долгие годы неоднократно проводился ГРП.

При приготовлении геля использовались дистиллированная вода, солевые растворы хлоридов, сульфатов, нитратов и нитритов, а также пластовая вода Арланского месторождения, пластовая и модельная вода Ромашкинского месторождения различной концентрации.

В таблице 1 представлены реологические характеристики полученного полисахаридного геля (использовались одинаковые загрузки реагентов), такие как: эффективная вязкость, n – показатель неньютоновского поведения жидкости, k – коэффициент консистенции, напряжение сдвига.

Из таблицы 1 видно, что гель, приготовленный на дистиллированной воде, отличается лучшими реологическими свойствами, чем гель, приготовленный на минерализованной воде. Наименьшим показателем вязкости отличается гель, приготовленный с использованием воды, содержащей 10 г/л сульфата магния. При использовании пластовой воды Ромашкинского месторождения гель не получился. Таким образом, подтверждено, что на качество геля ГРП влияют соли, содержащиеся в природных водах.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение взаимного влияния минерализации воды и содержания ионов бора в воде на качество получаемого геля. Исследование проводилось с использованием той же воды.

Качественное определение ионов бора в воде с использованием содовой вытяжки с образованием глицеринборной кислоты показало, что в пластовой воде Ромашкинского месторождения присутствуют ионы бора, а в пластовой воде Арланского месторождения



бор не обнаружен. Определение количественного содержания ионов бора в пластовых водах проводилось методом атомно-эмиссионной спектроскопии в индуктивно связанной плазме. В пластовой воде Ромашкинского месторождения присутствуют ионы бора в количестве 17,3 мг/л. Из таблицы 1 видно, что модельная вода, приготовленная на основе анализа содержания солей, Ромашкинского месторождения успешно гелируется, а на пластовой воде затворение геля невозможно. Таким образом, можно сделать вывод, что присутствие ионов бора в воде негативно влияет на образование геля.

На следующем этапе исследования проводилось приготовление гелеобразной технологической жидкости ГРП с дополнительным введением в пластовую воду Арланского месторождения и модельную воду Ромашкинского месторождения ионов бора в количестве 1 мг/л, 2 мг/л. В таблице 2 представлены реологические характеристики полученных гелей.

Из данных таблицы очевидно, что гель, в который не вводились ионы бора, имеет более высокие значения эффективной вязкости. Наибольшим значением эффективной вязкости обладает гель, приготовленный на дистил-

лированной воде без добавления ионов бора. Однако при введении 1 мг/л бора в дистиллированную воду гель не сшивался, а при введении такого же количества бора в модельную воду Ромашкинского месторождения с общей минерализацией от 90 г/л до 180 г/л и в пластовую воду Арланского месторождения с общей минерализацией от 6 г/л до 140 г/л гель успешно образуется.

В соответствии с данными таблицы 2 был построен график зависимости эффективной вязкости геля ГРП от концентрации солей в воде при содержании ионов бора от 0 до 2 мг/л. График изображен на рисунке 1. График носит полиэкстремальный характер. Из графика видно, что присутствующие в модельной и пластовой воде ионы солей частично нейтрализуют влияние ионов бора на качество приготавливаемого геля ГРП. Становится очевидным, что введение 1 мг/л бора значительно снижает вязкость геля, а введение 2 мг/л бора исключает возможность получения геля как на модельной, так и на пластовой воде.

Таким образом, для определения минимального количества бора, при котором уже не происходит процесс гелеобразования, необходимо проведение исследований в диапазоне значений содержания бора 1–2 мг/л. ■

Таблица 1 – Реологические характеристики полисахаридного геля для гидроразрыва пласта

№ п/п	Используемая вода для приготовления полисахаридного геля	n	K, Па·сек	Скорость сдвига 170 сек-1, 20 °С	
				Вязкость, мПа·с	Напряжение сдвига, мПа·с
1	Вода дистиллированная	0,47	13,38	857,73	1458,14
2	NaCl-1 г/л	0,47	13,38	578,72	983,83
4	NaCl-10 г/л	0,48	5,39	367,34	624,6
5	NaCl-10 г/л, CaCl-0,5 г/л	0,41	11,46	541,45	920,47
6	NaNO ₂ -10 г/л	0,41	7,58	358,13	608,81
7	MgSO ₄ -10 г/л	0,4	1,98	91,47	155,5
8	Ca(NO ₃) ₂ -10 г/л	0,45	5,89	341,25	580,13
9	Пластовая вода Ромашкинского мест., содержание солей – 290,8 г/л	0,28	0,13	3,38	5,75
10	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 182,824 г/л	0,51	5,33	438,03	744,66



Продолжение табл. 1

11	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 91,412 г/л	0,79	0,56	193,51	328,97
12	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 45,706 г/л	0,64	1,62	249,88	424,8
13	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 18,282 г/л	0,43	3,98	216,18	367,5
14	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 9,141 г/л	0,41	4,14	199,41	399,01
15	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 4,571 г/л	0,53	3,69	324,44	551,55
16	Модель воды Ромашкинского мест. содержание солей – 1,828 г/л	0,56	3,48	371,14	630,94
17	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 279,56 г/л	0,31	14,47	427,21	726,25
18	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 139,78 г/л	0,56	0,86	92,07	156,51
19	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 69,89 г/л	0,45	4,24	257,49	437,25
20	Пластовая вода Арланского мест. содержание солей - 27,96 г/л	0,41	6,82	323,9	550,63
21	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 13,98 г/л	0,39	5,45	241,99	411,39
22	Пластовая вода Арланского мест. содержание солей – 6,98 г/л	0,32	5,54	166,29	281,7
23	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 2,79г/л	0,43	7,77	415,92	707,07
24	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 1,40г/л	0,38	10,58	447,04	759,96

Таблица 2 – Реологические характеристики гелей, приготовленных с искусственным введением ионов бора в модельную воду Ромашкинского месторождения и пластовую воду Арланского месторождения

№ п/п	Используемая вода для приготовления полисахаридного геля	B+3], мг/л	n	k Па · сек	Скорость сдвига 170 сек-1, 20 °С	
					Вязкость мПа · сек	Напряжение сдвига, мПа · сек
1	Вода дистиллированная	0	0,47	13,38	857,73	1458,14
		0,5	0,28	0,13	3,38	5,75
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
2	NaCl-1 г/л	0	0,47	13,38	578,72	983,83
		0,5	0,28	0,13	3,38	5,75
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
3	NaCl2-10 г/л	0	0,48	5,39	367,341	624,6
		0,5	0,28	0,13	3,38	5,75
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
4	NaCl-10 г/л, CaCl-0,5 г/л	0	0,41	11,46	541,45	920,47
		0,5	0,28	0,13	3,38	5,75
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
5	NaNO2 -10 г/л	0	0,41	7,58	358,13	608,81
		0,5	0,28	0,13	3,38	5,75
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
6	MgSO4 -10 г/л	0	0,4	1,98	91,47	155,5
		0,5	0,28	0,13	3,38	5,75
		1	0,28	0,13	3,38	5,75



Продолжение табл. 2

7	Ca(NO ₃) ₂ - 10 г/л	0	0,45	5,89	341,25	580,13
		0,5	0,28	0,13	3,38	5,75
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
8	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 182,824 г/л	0	0,47	5,33	438,03	744,66
		1	0,28	4,03	271,67	461,84
		2	0,79	0,13	3,38	5,75
9	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 91,412 г/л	0	0,79	0,56	193,51	328,97
		1	0,57	2,6	285,94	468,1
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
10	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 45,706 г/л	0	0,64	1,62	249,88	424,8
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
11	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 18,282 г/л	0	0,43	3,98	216,18	367,5
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
12	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 9,141 г/л	0	0,41	4,14	199,41	399,01
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
13	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 4,571 г/л	0	0,53	3,69	324,44	551,55
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
14	Модель воды Ромашкинского мест., содержание солей – 1,828 г/л	0	0,56	3,48	371,14	630,94
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
15	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 139,78 г/л	0	0,56	0,86	92,07	156,51
		1	0,61	0,4	54,13	92,03
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
16	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 69,89 г/л	0	0,45	4,24	257,49	437,25
		1	0,45	3,46	201,15	341,96
			0,59	0,57	170,06	119,11
17	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 27,96 г/л	0	0,41	6,82	323,9	550,63
		1	0,43	2,31	122,64	208,48
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
18	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 13,98 г/л	0	0,39	5,45	241,99	411,39
		1	0,45	1,57	17,61	29,94
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
19	Пластовая вода Арланского мест., содержание солей – 6,98 г/л	0	0,32	5,54	166,29	281,7
		1	0,39	2,57	69,35	117,9
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
20	Пластовая вода Арланского мест. содержание солей – 2,79 г/л	0	0,43	7,77	415,92	707,07
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
		2	0,28	0,13	3,38	5,75
21	Пластовая вода Арлаского мест., содержание солей – 1,40 г/л	0	0,38	10,58	447,04	759,96
		1	0,28	0,13	3,38	5,75
		2	0,28	0,13	3,38	5,75

*- В данном эксперименте использовали модель пластовой воды Ромашкинского месторождения, чтобы исключить влияние бора.



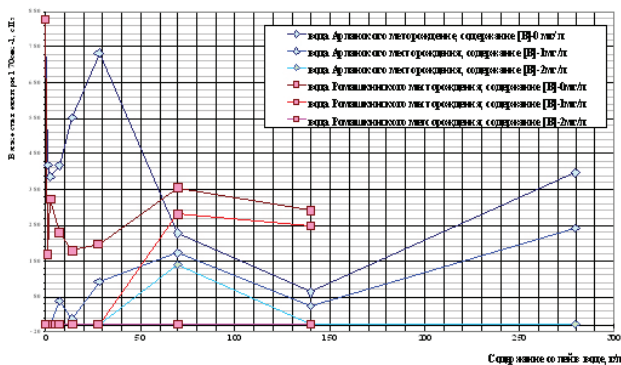


Рисунок 1 – Зависимость эффективной вязкости геля ГРП от концентрации солей в воде при содержании ионов бора от 0 до 2 мг/л

литература

1. Миронов Е. А. Закачка промышленных сточных вод в продуктивные и поглощающие горизонты. – М.: Недра, 1971. – 176 с.
2. Силин М. А., Магадова Л. А., Федорова Л. А. Анализ содержания бора в пластовых водах с целью оценки возможности применения этих вод для приготовления жидкости гидроразрыва пласта // Нефтепромышленное дело, 2010. – № 8. – С. 17–19.
3. Абрамишвили М. А., Мацаберидзе Т. Г. // Химический журнал Грузии, 2006. – № 3. – С. 244–245.