

УДК 622.692

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ БУРОВЫХ ПОЛИСАХАРИДНЫХ РЕАГЕНТОВ НА КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Исмаков Р.А., Мамаева О.Г., Вязниковцев С.Ф., Конесев Г.В.¹, Насырова Л.А.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
e-mail: konesev.burenie@mail.ru*

Аннотация. В современной технологии строительства нефтяных и газовых скважин широкое применение имеют реагенты класса полисахаридов в качестве стабилизаторов промывочных жидкостей, используемых при вскрытии продуктивных пластов. Актуальной является задача установления влияния продуктов их биоразложения на проницаемость коллекторов.

В данной статье приводятся результаты изучения состава продуктов биоразложения модифицированного крахмала и биополимера, влияния их на пористость и проницаемость образцов кернов продуктивного пласта. Показана неоднозначность этого влияния, что необходимо учитывать при выборе реагентов для регулирования свойств промывочных растворов.

Ключевые слова: продуктивность, полисахариды, биоразложение, проницаемость, керны, пористость, закупорка, выщелачивание, утилизация, газы, органика

Разработка полисахаридных реагентов и на их основе составов промывочных растворов, предназначенных для вскрытия продуктивных пластов, требует всестороннего изучения способности полисахаридов к ферментативной деструкции, изучения физико-химических свойств получаемых при этом продуктов биоразложения (ПБР) и исследования их влияния на коллекторские характеристики продуктивного пласта.

Данная задача решается путем постановки специальных экспериментов и проведения сравнительного анализа по способности к ферментативной деструкции полисахаридов разной природы происхождения, влиянию получаемых ПБР на пористость и проницаемость кернов горных пород. В дальнейшем это позволит определить положительные и отрицательные стороны воздействия ПБР на коллекторские свойства продуктивного пласта и сформулировать основные положения по использованию биотехнологий при бурении и освоении скважин, а также разработать средства и методы управления процессами биоразложения в продуктивном пласте.

В связи с этим в качестве объектов исследования, из которых получали продукты биоразложения и изучали их влияние на коллекторские свойства продуктивного пласта, были выбраны реагенты из класса крахмалов ФИТО-РК и ксантанового ряда Polixan. Для этого проводили следующий эксперимент.

На водопроводной воде готовили 3 %- й раствор ФИТО-РК и 0,6 %- й раствор Polixan, в которые помещали образцы кернов, служащих источниками микроорганизмов. Предварительно у кернов определяли абсолютную проницаемость по газу (азоту) и открытую пористость (по керосину) [1]. Минералогический состав кернов и их основные характеристики представлены в табл. 4 и 5.

Насыщение кернов растворами ФИТО-РК и Polixan проводили в вакуумном шкафу VO 400 "Mettmer" при остаточном давлении 7 - 10 мм рт.ст. до прекращения выделения пузырьков воздуха из образцов кернов. Далее, с целью создания условий максимально приближенных к скважинным, растворы с кернами подвергались биоразложению в герметично закрытых резиновыми пробками сосудах, без доступа света и воздуха, при температуре 50 - 60 °С.

В ходе ферментативной деструкции полисахаридов на 90 и 170 сут из сосудов шприцом объемом 50 мл отбирали пробы образующихся газов и проводили их хроматографический анализ, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1. Хроматографический анализ газов, образующихся в процессе биодеструкции полисахаридов на 90 и 170 сутки

Газ	Содержание газа на 90 и 170 сутки биоразложения полисахарида, ppm			
	ФИТО-РК		Polixan	
	90 сут	170 сут	90 сут	170 сут
H ₂	3 7567,5	10 9600,0	121,0	3087,5
CO ₂	1 1674,5	36 8208,0	983,5	2 3835,5
CH ₄	–	48,0	69,0	24,0
C ₂ H ₆ +C ₂ H ₄	–	–	–	8,0
C ₃ H ₆ +C ₃ H ₈	–	48,0	–	16,0
C ₄	8,0	72,0	2,0	21,0
C ₅	5,0	6784,0	–	306,0

Образование большого количества газа и его состав (табл. 1) указывают на то, что ферментативная деструкция полисахаридов до газообразных веществ будет способствовать сохранению проницаемости продуктивного пласта вследствие:

- разрушения кольматационного экрана, образующегося из полимеров в призабойной зоне пласта (ПЗП);
- выщелачивания породы под действием высокого содержания CO₂ в газах;
- увеличения пластового давления, под действием которого может происходить в дальнейшем выброс твердых частиц из пор в скважину (в случае глубокого проникновения полимеров вглубь продуктивного пласта при его первичном вскрытии).

В то же время, при высокой концентрации в пластовой воде ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , в результате взаимодействия их с углекислым газом, будет происходить образование карбонатных осадков, которые могут закупоривать поры продуктивного пласта и, соответственно, снижать его проницаемость и пористость. Кроме того, при выщелачивании породы под действием CO_2 возможен скол твердых частиц, которые приведут к образованию "тромбов" в порах продуктивного пласта. Следовательно, высокое содержание углекислого газа в составе газообразных продуктов биоразложения будет отрицательно влиять на проницаемость продуктивного пласта.

По истечении шести месяцев из растворов извлекались образцы кернов и растворы отфильтровывали. По количеству сухого остатка на фильтре определяли степень биоразложения реагентов, которая для ФИТО-РК составила 80,11 %, для Polixan – 85,37 %. Полученные фильтраты растворов представляют собой жидкие продукты биоразложения соответственно ФИТО-РК и Polixan.

Физико-химические свойства жидких ПБР в сравнении со свойствами водопроводной воды, на которой изначально готовились растворы полисахаридов, представлены в табл. 2.

Высокие значения плотности, кинематической вязкости, поверхностного натяжения, сухого остатка, содержания двухвалентных ионов в жидких ПБР указывают на обогащение неорганическими солями ПБР крахмала ФИТО-РК в процессе его ферментативной деструкции, что говорит об их способности к выщелачиванию горных пород. Низкие значения pH и поверхностного натяжения в сравнении с водопроводной водой свидетельствуют о содержании в ПБР органических жирных кислот.

Таблица 2. Сравнительные характеристики физико-химических свойств жидких ПБР ФИТО-РК, Polixana и водопроводной воды

Показатели	Значения показателей		
	ФИТО-РК	Polixan	Водопр. вода
Плотность, г/см ³	1,023	0,983	0,999
Вязкость кинематическая, мм ² /с	1,029	0,919	0,900
pH	4,34	8,16	7,34
Поверхностное натяжение, мН/м	34,49	26,62	38,53
Сухой остаток, мг/л	2138,0	340,0	52,0
Содержание ионов Ca^{2+} , мг/л	1102,2	250,5	100,2
Содержание ионов Mg^{2+} , мг/л	243,2	30,4	30,4
Содержание воды, %	93,75	88,08	100,0

При сравнении значений показателей ПБР Polixan со значениями ПБР ФИТО-РК можно утверждать, что первые содержат больше водорастворимых органических веществ (низкие значения плотности, кинематической вязкости, меньшее содержание сухого остатка, двухвалентных ионов, воды), которые могли образоваться в ходе ферментативной деструкции реагента. Это же подтверждается при сравнении их свойств со свойствами водопроводной воды (низкие значения плотности, поверхностного натяжения, высокие значения кинематической вязкости, сухого остатка и практически одинаковое содержание двухвалентных ионов). Высокое значение рН свидетельствует об отсутствии в составе органических веществ ПБР Polixan низкомолекулярных жирных кислот, либо о наличии нейтрализующих их веществ. Все это указывает на способность жидких ПБР реагента Polixan растворять органические вещества и на его нейтральность (индифферентность) к горным породам.

Для подтверждения наших предположений о наличии низкомолекулярных органических соединений в жидких ПБР крахмала ФИТО-РК и ксантанового реагента Polixan был проведен их хроматографический анализ (табл. 3).

Таблица 3. Хроматографический анализ жидких ПБР крахмала ФИТО-РК и Polixan

Вещество	Содержание, мг/л*	
	в ФИТО-РК	в Polixan**
Метиловый спирт	–	10,5
Этиловый спирт	12,7	58,9
2,3-Бутандиол	2,2	–
2,3-Бутандион	6,95	–
Бутановая кислота	25,3	–
Уксусная кислота	2,1	–

* Для проведения хроматографического анализа проба ПБР Polixan была предварительно экстрагирована толуолом.
 ** В процессе хранения в ПБР образовывались хлопьевидные сгустки.

Необходимо отметить, что в процессе хранения жидкие ПБР крахмала ФИТО-РК оставались прозрачными, в то время как в ПБР Polixan со временем появлялись хлопьевидные сгустки. Отсюда можно сделать вывод, что Polixan и его продукты разложения являются хорошей питательной средой для микроорганизмов, деятельность которых может привести к закупорке пор продуктивного пласта [2].

Извлеченные из растворов ФИТО-РК и Polixan керны подвергались очистке, а затем у них определялись абсолютная проницаемость (по газу) и пористость (по керосину). Результаты экспериментальных данных представлены в табл. 4 и 5.

Из данных табл. 4 и 5 видно, что после воздействия растворов крахмала ФИТО-РК и ксантанового реагента Polixan и их продуктов биоразложения проницаемость и пористость кернов снизилась. В среднем, коэффициенты восстановления проницаемости и пористости составляют, соответственно, у ФИТО-РК – 77,65 % и 83,95 %, у Polixan – 78,4 % и 84,55 %.

Анализируя составы ПБР ФИТО-РК и Polixan и результаты испытаний на проницаемость кернов, снижение коллекторских характеристик кернов можно объяснить следующими причинами:

- недостаточной степенью биоразложения полисахаридов (ФИТО-РК – 80,11 %, Polixan – 85,37 %);

- под воздействием углекислого газа, образующегося вследствие ферментативной деструкции полимеров, произошло выщелачивание породы, которое привело к сколу внутри пор механических примесей и образованию «тромбов»; в кервах, находившихся в растворе с ФИТО-РК, процесс выщелачивания дополнительно шел под воздействием бутановой и уксусной кислоты;

- у кернов, находящихся в растворе с добавкой Polixan, могла произойти закупорка пор хлопьевидными сгустками – продуктами жизнедеятельности особого вида микроорганизмов [3].

Проведенные исследования позволили определить состав и свойства ПБР полисахаридов и установить их влияние на коллекторские свойства продуктивного пласта. Показано, что под действием углекислого газа и низкомолекулярных органических кислот, являющихся ПБР полисахаридов, идет процесс выщелачивания горной породы [4, 5], который может способствовать не только увеличению эффективного сечения порового пространства, но и привести к образованию в них «тромбов». Выявлено, что ПБР полисахаридов могут быть хорошей питательной средой для микроорганизмов, деятельность которых может приводить к образованию сгустков, закупоривающих поры продуктивного пласта.

Также исследования по ферментативной деструкции полисахаридов указывают на то, что одним из перспективных направлений по утилизации промывочных растворов является закачка их в пласты, где они под действием микроорганизмов, содержащихся в горных породах, могут разлагаться до газообразных и низкомолекулярных веществ.

Таблица 4. Описание кернов из скважин № 16881 и № 16882 метаноугольного месторождения Нарыкско-Осташкинской площади, проницаемость и пористость их до и после воздействия продуктов биоразложения ФИТО-РК

№ пробы	Скв.	Глубина отбора, м		Литологическое описание	Проницаемость К, мкм ²		$K_{\text{восст}}^{\text{пр}} = (K_{\text{после}}/K_{\text{до}}) \times 100, \%$	Пористость П, %		$K_{\text{восст}}^{\text{пор}} = (P_{\text{после}}/P_{\text{до}}) \times 100, \%$
		от	до		до	после		до	после	
12	16881		581,9	Песчаник среднезернистый	0,326	0,2535	77,76	7,42	6,41	86,39
14	16881		604,7	Песчаник среднезернистый	0,604	0,4880	80,79	7,68	6,79	88,41
16	16881		606,1	Песчаник среднезернистый				7,48	6,80	90,91
17	16881		621,4	Песчаник среднезернистый				7,85	6,81	86,75
46	16882		546,8	Переслаивание мелко- и среднезернистого песчаника	3,1571	2,5283	80,08	10,01	8,86	88,51
54	16882		598,7	Песчаник среднезернистый				7,77	6,55	84,30
65	16881	737,45	737,6	Песчаник тонкозернистый				7,10	4,15	58,45
111⊥	16881	866,4	866,6	Песчаник среднезернистый	0,8902	0,6731	75,61			
113⊥	16881	870,3	870,5	Песчаник среднезернистый	0,7810	0,6051	77,48	5,31	4,77	89,83
120⊥	16881	914,8	914,95	Песчаник среднезернистый	0,3506	0,2564	73,13			
121	16881	918,85	919,05	Песчаник среднезернистый				7,40	6,07	82,03
130	16882	728,25	728,50	Песчаник среднезернистый	1,8732	1,4744	78,71			

$K_{\text{восст}}^{\text{пр}}$ – коэффициент восстановления проницаемости после биоразложения.

$K_{\text{восст}}^{\text{пор}}$ – коэффициент восстановления пористости после биоразложения.

⊥ – проницаемость определялась у керна с вертикальным напластованием.

Таблица 5. Описание кернов из скважин № 16881 и № 16882 метаноугольного месторождения Нарыкско-Осташкинской площади, проницаемость пористость их до и после воздействия продуктов биоразложения Polixan

№ пробы	Скв.	Глубина отбора, м		Литологическое описание	Проницаемость К, мкм ²		$K_{\text{восст}}^{\text{пр}} = (K_{\text{после}}/K_{\text{до}}) \times 100, \%$	Пористость П, %		$K_{\text{восст}}^{\text{пор}} = (P_{\text{после}}/P_{\text{до}}) \times 100, \%$
		от	до		до	после		до	после	
12	16881		581,9	Песчаник среднезернистый				7,40	6,16	83,24
14 ⊥	16881		604,7	Песчаник среднезернистый	2,1894	1,8126	82,78			
15	16881		606,0	Песчаник среднезернистый				7,84	6,81	86,86
17	16881		621,4	Песчаник среднезернистый	3,2974	2,6347	79,90	7,94	6,41	80,73
45	16882		544,2	Песчаник мелкозернистый				7,51	6,77	90,15
48	16882		561,2	Песчаник среднезернистый				8,95	7,62	85,14
49	16882		569,8	Песчаник среднезернистый				8,72	7,15	82,00
111	16881	866,4	866,6	Песчаник среднезернистый	0,3189	0,2596	81,40	8,53	7,38	86,52
113	16881	870,3	870,5	Песчаник среднезернистый	0,4210	0,3336	79,24			
120	16881	914,8	914,95	Песчаник среднезернистый	0,3481	0,2618	75,21			
121 ⊥	16881	918,85	919,05	Песчаник среднезернистый	0,2690	0,1971	73,27			
130	16882	728,25	728,50	Песчаник среднезернистый				3,48	3,09	88,79
132	16882	734,75	735,0	Песчаник среднезернистый	0,7014	0,5401	77,00	4,32	3,35	77,55

$K_{\text{восст}}^{\text{пр}}$ – коэффициент восстановления проницаемости после биоразложения.

$K_{\text{восст}}^{\text{пор}}$ – коэффициент восстановления пористости после биоразложения.

⊥ – проницаемость определялась у керна с вертикальным напластованием.

Литература

1. Гиматудинов Ш.К., Ширковский А.И. Физика нефтяного и газового пласта. М.: Недра, 1982. 311 с.
2. Юлбарисов Э.М. Биотехнология увеличения нефтеотдачи: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 1995. 57 с.
3. Юлбарисов Э.М. Геологические основы применения микробиологического повышения нефтеотдачи пласта с высоковязкой нефтью (на примере Арланского месторождения). Уфа: УИТиС АНК «Башнефть», 2002. С. 37 - 69.
4. Ибатуллин Р.Р., Хисамов Р.С., Кандаурова Г.Ф., Беляев С.С., Борзенков И.А., Назина т. н. Применение современных микробиологических технологий увеличения нефтеотдачи на объектах НГДУ Лениногорскнефть // Нефтяное хозяйство. 2005. № 7. С. 42 - 45.
5. Ибатуллин Р.Р., Глузов И.Ф., Хисамов Р.С., Беляев С.С., Борзенков И.А., Назина Т.Н. Разработка и применение микробных биотехнологий увеличения нефтеотдачи пластов // Нефтяное хозяйство. 2003. № 8. С. 50 - 53.

**INVESTIGATION OF INFLUENCE BIODEGRADATION PRODUCTS
OF POLYSACCHARIDE DRILLING REAGENTS
ON THE RESERVOIR PROPERTIES OF ROCKS**

R.A. Ismakov, O.G. Mamaeva, S.F. Vyaznikovcev, G.V. Konesev¹, L.A. Nasyrova
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
e-mail: ¹konesev.burenie@mail.ru

Abstract. *Reagents class of polysaccharides are widely used as stabilizers of drilling fluids. They are widely used in modern construction technology oil and gas wells in drilling-in. The main task is to determinate the influence of the biodegradation products on reservoir permeability.*

This article presents the results of study the composition of biodegradation products from modified starch and biopolymer, their effect on porosity and permeability of reservoir cores sample.

It also show us the ambiguity of this impact. It is necessary to consider when choosing reagents for regulation of drilling fluids properties.

Keywords: *productivity, polysaccharides, biodegradation, permeability, cores, porosity, occlusion, leaching, disposal, gas, organic*

References

1. Gimatudinov Sh.K., Shirkovskii A.I. Fizika neftyanogo i gazovogo plasta (Physics of oil and gas reservoirs). Moscow, Nedra, 1982. 311 p.
2. Yulbarisov E.M. Biotekhnologiya uvelicheniya nefteotdachi (Biotechnology for enhancing oil recovery). PhD Thesis. Moscow, 1995. 57 p.
3. Yulbarisov E.M. Geologicheskie osnovy primeneniya mikrobiologicheskogo povysheniya nefteotdachi plasta s vysokovyazkoi nef'tyu (na primere Arlanskogo mestorozhdeniya) (Geological basis for application of microbiological methods for enhanced oil recovery from heavy oil fields (on example Arlanskoe field)). Ufa, ANK "Bashneft", 2002. pp. 37 - 69.
4. Ibatullin R.R., Khisamov R.S., Kandaurova G.F., Belyaev S.S., Borzenkov I.A., Nazina T. N. Primenenie sovremennykh mikrobiologicheskikh tekhnologii uvelicheniya nefteotdachi na ob"ektakh NGDU Leninogorskneft' (The use of modern microbiological technologies of reservoirs recovery increase on objects of Leninogorskneft NGDU), *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2005, Issue 7, pp. 42 - 45.
5. Ibatullin R.R., Glumov I.F., Khisamov R.S., Belyaev S.S., Borzenkov I.A., Nazina T.N. Razrabotka i primeneniye mikrobnnykh biotekhnologii uvelicheniya nefteotdachi plastov (The development and application of microbiological methods for oil recovery increase), *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2003, Issue 8, pp. 50 - 53.