



## НОВЫЙ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННУЮ ВОДУ

С.Дж.Рзаева

НИПИ «НЕФТЕГАЗ», SOCAR, Баку, Азербайджан

**New Microbiological Method of Oil Recovery Increase Containing Highly Mineralized Water**

*S.J.Rzayeva*

«OilGasScientificResearchProject» Institute, Baku, Azerbaijan

### Abstract

The highly-mineralized formation waters of oil fields impede the development of microbiological processes. In order to increase the efficiency of microbiological methods of influencing the formation and use them in formations having conditions, which are unfavourable for microorganism activities, a new microbiological method of oil recovery increase was developed in which a rim of low-saline flush fluid was used prior to the injection of organic substrate. As an organic substrate, a composition of two types of milk whey was used. In this case, an oil recovery factor of 74% was obtained. The developed method provides a means for effectively dealing with issues of non-waste technologies creation, and for the improvement of the ecological situation at developed deposits.

### Keywords:

Biotechnology;  
Oil recovery;  
Highly-mineralized water;  
Microorganisms;  
Model;  
Recovery factor.

© 2019 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

### Введение

Существующие способы разработки нефтяных месторождений дают возможность извлекать из недр не более половины геологических запасов нефти. Более того, коэффициент извлечения нефти имеет тенденцию к снижению в связи с вовлечением в эксплуатацию месторождений с вязкими нефтями, сравнительно небольшими запасами и сложными геолого-физическими свойствами. Таким образом, чтобы поддерживать объем нефтедобычи хотя бы на существующем уровне, необходима разработка новых эффективных методов повышения нефтеотдачи. Приоритетными в этом направлении являются методы микробиологического воздействия на пласты, обладающие большими потенциальными возможностями [1-3].

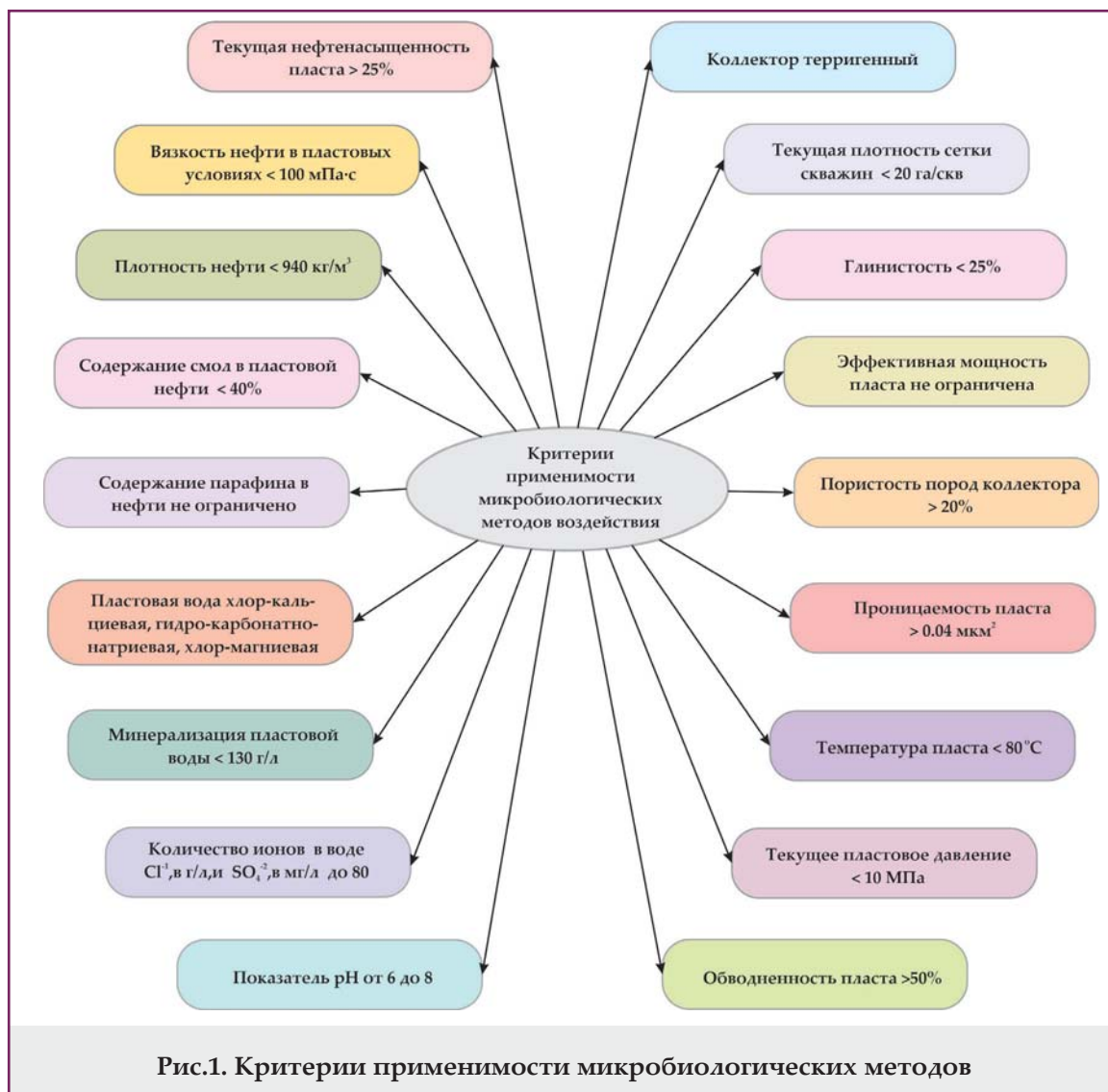
Идея использования жизнедеятельности микроорганизмов в целях увеличения добычи нефти была предложена еще в начале прошлого века. В последствие целенаправленные исследования в области применения микробиологических методов повышения нефтеотдачи пластов

велись в двух направлениях. Работы, определяющие первое направление, были связаны с улучшением нефтewымывающих свойств закачиваемой в пласт воды на основе использования продуктов, образуемых микроорганизмами на поверхности земли. Второе направление основано на использовании деятельности микроорганизмов непосредственно в пласте путем активации пластовой микрофлоры или закачки культур микроорганизмов с питательной средой.

Практика показала, что производство биополимеров и биоПАВ на поверхности в специальных биореакторах и затем улучшение с их помощью свойств закачиваемой в нефтяные пласты воды требует больших капиталовложений. Однако первое направление микробиологических методов повышения нефтеотдачи, связанное с получением продуктов метаболизма на поверхности земли обладает значительными преимуществами. Эти методы можно применять в условиях месторождений с высокой пластовой температурой и высокоминерализованными водами, которые являются неблагоприятными факторами для протекания микробиологических процессов внутри пласта.

E-mail: [rsabina73@mail.ru](mailto:rsabina73@mail.ru)

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20190200387>



### Критерии применимости

Следует отметить, что геолого-физические условия объектов, выбираемых под технологии микробиологического воздействия, основанные на жизнедеятельности микроорганизмов непосредственно в пласте, должны отвечать определенным требованиям, предъявляемым к температуре и давлению пласта, минерализации и составу пластовой воды, а также свойствам пород коллектора.

Высокоминерализованные пластовые воды нефтяных месторождений препятствуют развитию микробиологических процессов. Поэтому минерализация вод в пласте не должна превышать 130 г/л, а содержание хлористого натрия – 5-10%. Содержание SO<sub>4</sub> в пластовых и закачиваемых водах не должно превышать 80 мг/л с целью воспрепятствования развития сульфатредукции. Наиболее эффективно биотехнологии могут быть применены на месторождениях с достаточно высокой проницаемостью пластов – более 0.05 мкм<sup>2</sup> и при температуре пласта до 80 °С. Нефтяной пласт должен быть в достаточной степени промыт для достижения большой площади водонефтяного контакта [6].

Учитывая вышесказанное, перспективны поиски технологий, позволяющих применение малоза-

тратных и эффективных микробиологических методов повышения нефтеотдачи на месторождениях с неблагоприятными для жизнедеятельности микроорганизмов геолого-физическими условиями.

### Механизм процесса

При использовании биотехнологий повышение нефтеотдачи определяется совокупностью целого ряда взаимосвязанных микробиологических и обусловленных ими физико-химических процессов. В процессе микробиологического воздействия на нефтяной пласт, как правило, образуются кислоты, спирты, эфиры, растворители, газы (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>), биоПАВы и биополимеры [3-6]. Все указанные соединения, образующиеся непосредственно в различных зонах пласта, оказывают существенное воздействие на физико-химические свойства пластовых флюидов в системе нефть-вода-пористая среда.

Кислоты и спирты растворяют карбонатные породы, препятствуют солеотложению, что способствует увеличению пористости и проницаемости пород. Растворители непосредственно участвуют в экстракции капельной и пленочной нефти из пород, улучшают смачиваемость пород и т.д.

В процессах брожения в анаэробной зоне в

газовую фазу кроме  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  выделяются также  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  и др. газы, создавая дополнительно градиент давления в зоне вытеснения, что способствует повышению растворимости этого газа в нефти. Углекислый газ влияет на элементы кинетики процесса вытеснения посредством снижения рН воды, увеличения вязкости воды, изменения объемного расширения нефти и натяжения смачивания на границе нефть-вода, снижения интенсивности коалесценции капель нефти и прилипания их к твердой поверхности, меньшей набухаемости глин в карбонизированной воде.

Образованные микробные ПАВ снижают межфазное поверхностное натяжение воды на границе с нефтью и твердой поверхностью до уровня, при котором становятся подвижными глобулы остаточной нефти, удерживавшиеся в пористой среде капиллярными силами. ПАВы микробного происхождения могут обладать высокой эмульгирующей способностью и формировать высокодисперсные эмульсии типа нефть в воде, что способствует достижению равномерности продвижения фронта вытеснения. Образовавшиеся в результате жизнедеятельности микроорганизмов биополимеры изменяют реологические свойства пластовых жидкостей и способствуют выравниванию фронта вытеснения.

Механизм микробиологического воздействия сложный и многоступенчатый. В первую очередь в призабойной зоне пласта при питательном заводнении происходит разложение и окисление закачанными микроорганизмами углеводов в присутствии кислорода, в результате чего образуются жирные, нафтеновые и ароматические кислоты, спирты, эфиры, растворители. Увеличение биомассы микроорганизмов происходит за счет правильно подобранной питательной среды.

Характерной особенностью нефтяных веществ является их исключительная гетерогенность, обусловленная наличием органических соединений, заметно различающихся по химическому составу и строению, поэтому они активно подвергаются микробному воздействию. В связи с этим отдельные фракции нефти в неодинаковой степени подвергаются микробному разложению. Продукты окисления нефтяных углеводов становятся субстратами питания для микроорганизмов в глубине пласта, при отсутствии кислорода. В начале идет разложение, окисление более легко усвояемых органических соединений, затем более трудно утилизируемых, а к концу в системе происходит усвоение продуктов жизнедеятельности предыдущих уровней. На следующем этапе жирные кислоты, спирты используются другими микроорганизмами, образуя уксусную кислоту, углекислый газ и водород. В заключительной фазе из промежуточных продуктов разложения образуется метан, являющийся конечным звеном в цепи превращения органических веществ в пласте.

Рассмотренные выше процессы в своей совокупности оказывают существенное воздействие на реологию пласта и пластовых флюидов, на

физико-химию пласта, в конечном счете – на нефтевытеснение. Трудно вычлнить определяющий доминирующий механизм нефтевытеснения. Все вышеуказанные механизмы имеют место одновременно. Вероятно, высокая эффективность биотехнологий не есть функция какого-либо одного фактора, как это имеет место при использовании физико-химических методов воздействия, а определяется интегральным воздействием многих факторов.

### **Экспериментальные исследования и обсуждение результатов**

Для повышения эффективности микробиологических методов воздействия на пласт и возможности применения их в пластах с неблагоприятными для жизнедеятельности микроорганизмов условиями, разработан новый микробиологический способ повышения нефтеотдачи пласта, в котором перед закачкой органического субстрата создается оторочка из буферной жидкости низкой солености. В качестве органического субстрата используется композиция двух видов молочной сыворотки: сыворотка 1 и сыворотка 2, представляющих собой отходы пищевой промышленности [7]. Молочную сыворотку получают несколько видов в зависимости от вырабатываемого продукта: подсырная, творожная, казеиновая. Различия между приведенными выше видами сыворотки заключается в составе и физико-химических показателях. Молочная сыворотка характеризуется высоким содержанием биогенных органических и неорганических соединений и наличием в ней остаточной микрофлоры молока и молочных продуктов, которые наряду с пластовыми микроорганизмами могут принимать участие в процессах ферментации.

При применении микробиологических методов на месторождениях с высокоминерализованной водой предварительно необходима закачка оторочки буферной жидкости низкой солености. Нагнетание оторочки также способствует изменению смачиваемости породы и высвобождению молекул нефти с породы пласта. При нагнетании в пласт воды с меньшей минерализацией, чем минерализация пластовой воды, свободные катионы в закачиваемой воде, например, ионы  $\text{Na}^+$ , замещают двухвалентные катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , которые удерживают воду и высвобождают молекулы нефти. При этом смачиваемость породы меняется от гидрофобности к гидрофильности. Закачка указанной оторочки способствует дисперсии глины, в результате чего она «освобождает» компоненты нефти, которые первоначально были прикреплены к поверхности глины. В результате происходящих процессов увеличивается коэффициент вытеснения нефти из пласта.

Закачанный следом за оторочкой раствор биореагентов активизирует жизнедеятельность пластовой и внесенной микрофлоры, эффективность которой выше при низкой минерализации среды. При введении раствора биореагентов в нефтя-

ной пласт образуются кислоты, спирты, эфиры, растворители, газы, биоПАВы и биополимеры. Закачка буферной жидкости способствует отмыву нефти и гидрофилизации поверхности, в результате чего образованные реагенты биогенного происхождения, непосредственно контактируя с породой, растворяют карбонатные породы, препятствуют солеотложению, приводят к увеличению пористости и проницаемости пород, а также изменению свойств пластовых флюидов.

Молочная сыворотка одновременно является источником микроорганизмов и питательной средой для пластовой и внесенной микрофлоры. Наличие большого числа различных групп микроорганизмов ( $10^3$ - $10^5$  кл/мл) в составе сыворотки, а также большое разнообразие легкоусвояемых органических веществ для их питания, способствуют быстрому увеличению численности микроорганизмов.

С целью установления целесообразности использования композиции в качестве микробиологического агента для нефтевытеснения был осуществлен комплекс экспериментальных исследований. Определялись физико-химические свойства растворов сыворотки 1 и сыворотки 2 в соотношении 100:0; 75:25; 50:50; 25:75; 0:100 масс.% соответственно (табл.1).

№ состава	Сыворотка 1	Сыворотка 2	Плотность кл/м <sup>3</sup>	Вязкость, мПа·с	Межфазное натяжение на границе с нефтью, мН/м	рН
1	100	-	1019	1.62	15.3	6.2
2	75	25	1020	1.50	15.5	6.0
3	50	50	1022	1.32	18.9	5.3
4	25	75	1023	1.29	20.2	4.8
5	-	100	1025	1.25	21.6	4.5

В результате изучения влияния процесса ферментации предложенных биореагентов на физико-химические свойства нефти и водной среды установлено, что во всех опытах снижаются рН среды, межфазное натяжение на границе нефть-вода, вязкость нефти, в то время как вязкость воды увеличивается. В процессе ферментации изменяются и реологические свойства композиции, она приобретает вязкопластичные свойства, что способствует выравниванию фронта и увеличению охвата пласта воздействием. Лабораторными исследованиями доказано, что в замкнутых системах с биореагентом за счет активного газообразования давление возрастает до 4.5-5.0 МПа.

Для исследования эффективности предложенного способа проводились исследования на аппарате Зонгена. В колбы заполнялись нефть, растворы сыворотки 1 и сыворотки 2 и буферная жидкость

низкой солености. Состав буферной жидкости низкой солености приводится в таблице 2.

Параметры	Единицы измерения	Результаты анализов
рН		7.42
Электропроводность	мкСм/см	$19.19 \times 10^3$
Ионы карбоната, $\text{CO}_3^{2-}$	мг/л	58.56
Ионы гидрокарбоната, $\text{HCO}_3^-$	мг/л	118.31
Ион гидроксида, $\text{OH}^-$	мг/л	0
Ионы хлора, $\text{Cl}^-$	мг/л	320.45
Общая жесткость, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	мгэкв/л	11.37
Ионы кальция, $\text{Ca}^{2+}$	мг/л	41.8
Ионы магния, $\text{Mg}^{2+}$	мг/л	98.14
Ионы сульфата, $\text{SO}_4^{2-}$	мг/л	480.12
Ионы $\text{K}^+ + \text{Na}^+$	мг/л	977.44
Минерализация	мг/л	2106.19

Колбы закупоривались герметичными пробками, а вставленные в пробку стеклянные трубки соединялись эластичным шлангом с газосборником. После прекращения процесса газообразования на хроматографе определялся состав газа и количество образованного  $\text{CO}_2$  (табл.3).

Как видно из таблицы 3, в колбе № 2 с нефтью, буферной жидкостью низкой солености и составом 2 (75% сыворотки 1 + 25% сыворотки 2) образование  $\text{CO}_2$  максимальное (68%), что подтверждает эффективность предложенного способа.

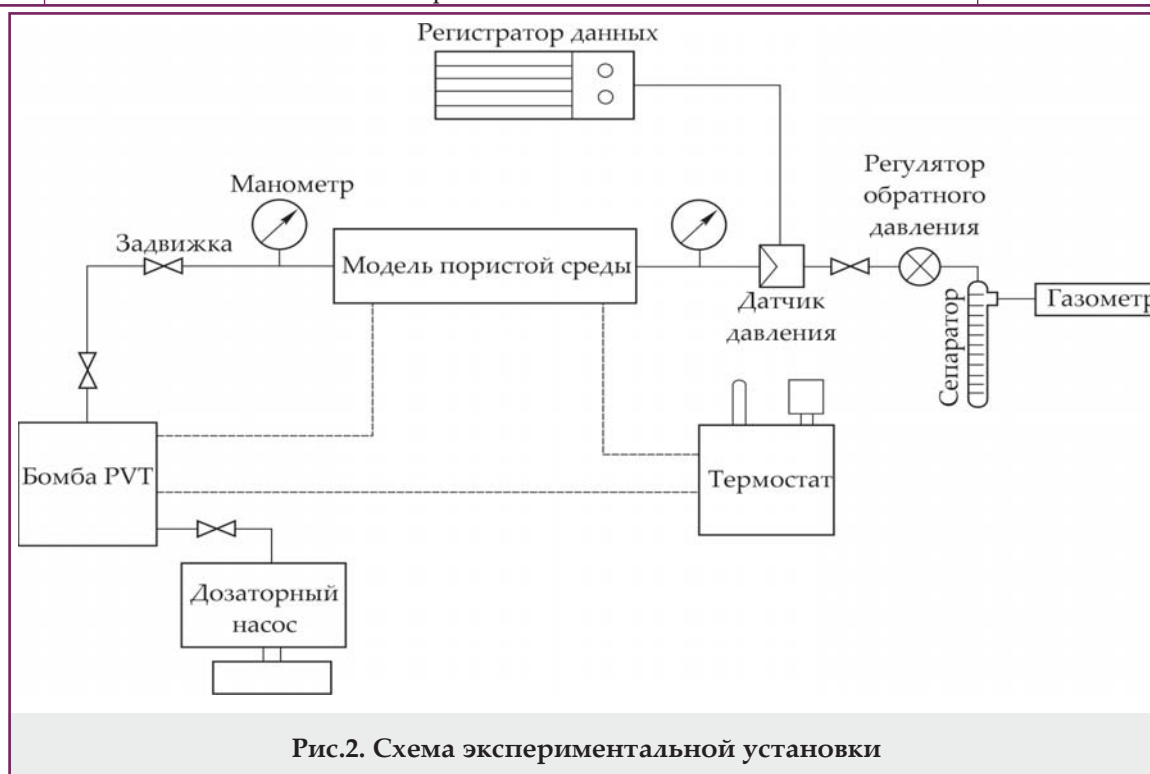
Для изучения влияния закачанных реагентов на коэффициент вытеснения остаточной нефти из обводненных пластов проводились сравнительные экспериментальные исследования на линейных моделях пласта. Схема экспериментальной установки показана на рисунке 2.

Модели заполнялись кварцевым песком с добавкой глинистого материала и по известной методике определялись пористость и абсолютная проницаемость породы. При постоянной температуре и перепаде давления модели насыщались пластовой водой, затем вода вытеснялась нефтью с вязкостью 85.3 мПа·с. Для создания модели обводненного пласта нефть вытеснялась пластовой водой. Далее перед микробиологическим воздействием в модели закачивали различные объемы буферной жидкости низкой солености, а следом проводили закачку композиции сыворотки 1 и сыворотки 2 в соотношении 75:25 масс.%. Модели закрывали и следили за изменением давления. После того как рост давления прекращался модели открывали и прокачивали пластовую воду. На рисунке 3 показана зависимость коэффициента

Таблица 3

**Количество образованного в экспериментальных исследованиях CO<sub>2</sub>**

№ колбы	Заполнение аппарата Зонгена	Количество образованного CO <sub>2</sub> , %
1	Нефть 150 см <sup>3</sup> ; буферная жидкость низкой солености 200 см <sup>3</sup> ; сыворотка 1 - 300 см <sup>3</sup>	58
2	Нефть 150 см <sup>3</sup> ; буферная жидкость низкой солености 200 см <sup>3</sup> ; сыворотка 1 - 225 см <sup>3</sup> ; сыворотка 2 - 75 см <sup>3</sup>	68
3	Нефть 150 см <sup>3</sup> ; буферная жидкость низкой солености 200 см <sup>3</sup> ; сыворотка 1 - 150 см <sup>3</sup> ; сыворотка 2 - 150 см <sup>3</sup>	55
4	Нефть 150 см <sup>3</sup> ; буферная жидкость низкой солености 200 см <sup>3</sup> ; сыворотка 1 - 75 см <sup>3</sup> ; сыворотка 2 - 225 см <sup>3</sup>	46
5	Нефть 150 см <sup>3</sup> ; буферная жидкость низкой солености 200 см <sup>3</sup> ; сыворотка 2 - 300 см <sup>3</sup>	38



нефтевытеснения от объема закачанного агента для предложенной технологии (кривая 1) и известного способа микробиологического воздействия, заключающегося в закачке в пласт творожной молочной сыворотки (2).

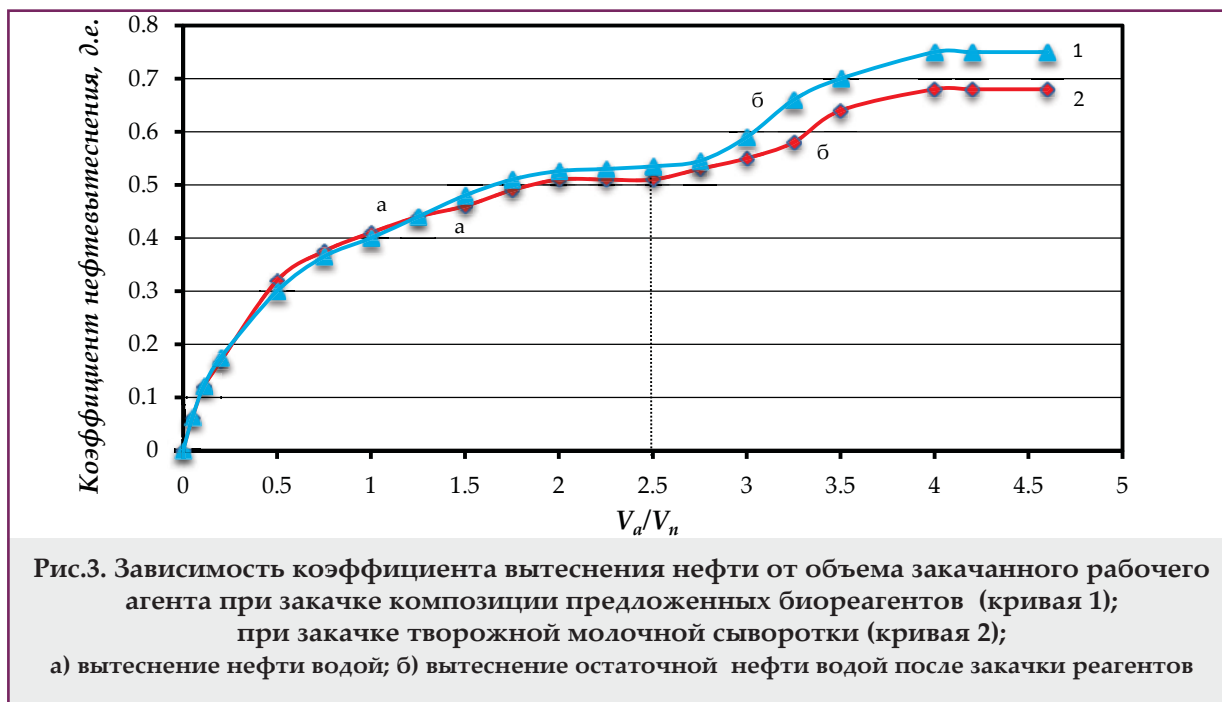
Как показали результаты экспериментов, при 30%-ном объеме закачки оторочки буферной жидкости низкой солености и 15%-ной концентрации раствора предложенных биореагентов в буферной жидкости низкой солености получен максимальный прирост коэффициента вытеснения 19.5% (рис.3). При дальнейшем увеличении объема оторочки и концентрации раствора эффективность процесса уменьшается.

При закачке в модель творожной молочной сыворотки без предварительного нагнетания оторочки буферной жидкости низкой солености коэффициент вытеснения увеличился на 15.5% [8].

Таким образом, для повышения нефтеотдачи пласта, содержащего высокоминерализованную воду, разработан усовершенствованный микробио-

логический способ воздействия, в котором в пласт необходимо закачать 10-15%-ный раствор сыворотки 1 и сыворотки 2 в соотношении 75:25 масс.% в буферной жидкости низкой минерализации с предварительным созданием оторочки буферной жидкости низкой солености в объеме 30% от объема пор. При этом коэффициент вытеснения нефти составит 74%.

Следует отметить, что микробиологические методы повышения нефтеотдачи малозатратны, технологичны и могут быть применены в залежах с трудноизвлекаемыми запасами нефти. Наряду с этим они позволяют решать вопросы создания безотходных технологий и улучшения экологической обстановки разрабатываемых месторождений. Предложенный же способ позволяет расширить область применения методов микробиологического воздействия и дает возможность внедрять их в условиях месторождений с неблагоприятными для жизнедеятельности микроорганизмов физико-химическими параметрами.



### Выводы

Методы микробиологического воздействия на пласты, обладающие большими потенциальными возможностями, являются приоритетным направлением повышения нефтеотдачи пластов.

Необходим поиск и разработка технологий, позволяющих применение малозатратных и эффективных микробиологических методов повышения нефтеотдачи на месторождениях с неблагоприятными для жизнедеятельности микроорганизмов геолого-физическими условиями.

Разработан способ микробиологического воздействия для месторождений, содержащих высокоминерализованную воду, включающий закачку в пласт оторочки буферной жидкости низкой минерализации с последующим введением композиции биореагентов.

### Литература

1. Н.А.Еремин, Р.Р.Ибатуллин, Т.Н.Назина и др. Биометоды увеличения нефтеотдачи. М.: РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2003.
2. M.Sveistrup, F. van Mastrigt, J.Norrman, et al. Viability of biopolymers for enhanced oil recovery // Journal of Dispersion Science and Technology. -2016. -Vol.37. -Issue 8. -P.1160-1169.
3. G.G.Havemann, B.G.Clement, K.M.Kozicki, et al. New microbial method show promise in EOR //IPT. - 01 March 2015.
4. М.А.Мамедьяров, Н.М.Исмаилов. Разработка и применение микробиологических методов повышения нефтеотдачи в Азербайджане //Нефтегазовые технологии. - 2011. - № 11.-С.23-27.
5. Н.М.Исмаилов, Ф.М.Рзаева. Биотехнология нефтедобычи. Принципы и применение. Баку: Элм, 1998.
6. Kh.M.Ibragimov, F.Abdullayeva, N.I.Guseynova. Experience of microbial enhanced oil recovery methods at Azerbaijan fields. SPE-177377-MS. SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition, Baku, Azerbaijan, 4-6 November, 2015.
7. Ф.С.Исмаилов, Б.А.Сулейманов, Х.М.Ибрагимов и др. Способ повышения нефтеотдачи пласта. Заявка на получение Евразийского патента 201700267, 2017.
8. М.А.Мамедьяров, Ч.М.Шейдаев, Т.М.Мамедов и др. Способ повышения нефтеотдачи во вторичной добыче нефти. А.С. СССР № 1652337, 1991.

### References

1. N.A.Eremin, R.R.Ibatullin, T.N.Nazina, et al. Biomethods for enhanced oil recovery. M.: RSU of Oil and Gas named after I.M.Gubkin, 2003.
2. M.Sveistrup, F. van Mastrigt, J.Norrman, et al. Viability of biopolymers for enhanced oil recovery // Journal of Dispersion Science and Technology. -2016. -Vol.37. -Issue 8. -P.1160-1169.
3. G.G.Havemann, B.G.Clement, K.M.Kozicki, et al. New microbial method show promise in EOR //IPT. - 01 March 2015.
4. M.Mamediarov, N.Ismailov. Development and using of increase oil recovery microbiological methods in Azerbaijan //Oilgas technology. - 2011. - № 11.-C.23-27.
5. N.M.Ismailov, F.M.Rzayeva. Biotechnology of oil production. Principles and application. Baku: Elm, 1998.
6. Kh.M.Ibragimov, F.Abdullayeva, N.I.Guseynova. Experience of microbial enhanced oil recovery methods at Azerbaijan fields. SPE-177377-MS. SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition, Baku, Azerbaijan, 4-6 November, 2015.
7. F.S.Ismayilov, B.A.Suleimanov, Kh.M.Ibragimov, et al. Method for enhanced oil recovery of reservoir. The request for the Eurasian patent 201700267, 2017.
8. M.A.Mammadyarov, Ch.M.Sheydaev, T.M.Mammadov, et al. Method of enhanced oil recovery in secondary oil production. SU Patent No. 1652337, 1991.

## **Новый микробиологический метод повышения нефтеотдачи пластов, содержащих высокоминерализованную воду**

*С.Дж.Рзаева*

НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

### **Реферат**

Известно, что высокоминерализованные пластовые воды нефтяных месторождений препятствуют развитию микробиологических процессов. Для повышения эффективности микробиологических методов воздействия на пласт и возможности применения их в пластах с высокоминерализованными водами разработан новый микробиологический способ повышения нефтеотдачи пласта, в котором перед закачкой органического субстрата создается оторочка из буферной жидкости низкой солености. При этом коэффициент вытеснения нефти составит 74%. В качестве органического субстрата используется композиция двух видов молочной сыворотки. Экспериментально установлено оптимальное соотношение композиции биореагентов. Разработанная технология позволяет решать вопросы создания безотходных технологий и улучшения экологической обстановки разрабатываемых месторождений.

**Ключевые слова:** биотехнология; нефтеотдача; высокоминерализованная вода; микроорганизмы; модель; коэффициент вытеснения.

## **Yüksək mineralizasiyalı suları olan layların neftveriminin artırılmasının yeni mikrobioloji üsulu**

*S.C.Rzayeva*

«Neftqazəlmütədqiqatlayihə» İnstitutu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan

### **Xülasə**

Məlumdur ki, neft yataqlarının yüksək mineralizasiyalı lay suları mikrobioloji proseslərin inkişafına mane olur. Laya mikrobioloji təsir üsullarının səmərəliliyinin və onların yüksək mineralizasiyalı suları olan laylarda tətbiq imkanının artırılması üçün layın neftveriminin artırılmasının yeni mikrobioloji üsulu işlənmişdir ki, burada orqanik substratın vurulmasından əvvəl aşağı duzluluqlu bufer mayesindən araqatı yaradılır. Bu halda neftin sıxışdırılma əmsalı 74% təşkil edəcək. Orqanik substrat kimi süd zərdabının iki növünün kompozisiyası istifadə olunur. Eksperimental olaraq bioreagentlərin kompozisiyasının optimal nisbəti müəyyən edilmişdir. İşlənmiş texnologiya tullantısız texnologiyaların yaradılması və işlənən yataqların ekoloji vəziyyətinin yaxşılaşdırılması məsələlərini həll etməyə imkan verir.

**Açar sözlər:** biotexnologiya; neftverimi; yüksək mineralizasiyalı su; mikroorqanizmlər; model; sıxışdırma əmsalı.