

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАГЕНТОВ В МЕТОДАХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ

С.Дж. Рзаева

НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

The use of biologically active agents in the methods of intensification of oil production

S.J. Rzaeva

"OilGasScientificResearchProjekt" Institute, Socar, Baku, Azerbaijan

ABSTRACT

To increase the efficiency of microbiological methods, a method is proposed to enhance oil recovery by pumping activated sludge with the addition of 10-15 % hydrocarbon-alkaline waste, which includes organic compounds that provide additional nutrition for activated sludge microorganisms. It was revealed that the addition of hydrocarbon-alkaline waste to activated sludge promotes an increase in the pH medium and a decrease in surface tension. It has been experimentally established that when activated sludge is injected with the addition of 10-15 % of hydrocarbon-alkaline waste, the adaptation time of microorganisms decreases, the volume of generated gas increases, and the increase in the displacement coefficient reaches 19 %.

e-mail: rsabina73@mail.ru

<https://doi.org/10.53404/Sci.Petro.20210100004>

KEYWORDS

Microbiological impact;
oil recovery;
adaptation time;
gas formation;
reservoir model;
displacement factor.

Повышение степени извлечения нефти из недр за счет совершенствования существующих и создания новых технологических процессов воздействия на пласты является важнейшей задачей увеличения нефтеотдачи. В последние годы основное внимание уделяется повышению эффективности методов путем удешевления реагентов и генерации нефтевытесняющих агентов непосредственно в пласте. В этой связи microbiological методы воздействия на пласт, в которых используются побочные продукты производства и достигается одновременное комплексное воздействие нескольких механизмов вытеснения нефти, являются приоритетным направлением интенсификации добычи нефти.

Биотехнологии повышения нефтеотдачи пластов разделяются на две группы. Первая группа включает методы, основанные на закачке в пласт продуктов, получаемых с помощью микробной биотехнологии на поверхности земли. Ко второй группе относятся методы, базирующиеся на получении тех же вытесняющих агентов при развитии microbiological процессов непосредственно в пласте [1-3]. Предпочтительной представляется вторая группа методов, решающая комплекс технологических задач, таких как:

- microbiological заводнение пластов с вводом только питания (питательное заводнение) и композиции питательной среды с микроорганизмами;
- microbiological деградация нефти с целью ее вытеснения;
- добыча тяжелых нефтей и битумов;
- избирательная закупорка высокопроницаемых зон пласта с целью увеличения охвата заводнением и их различные комбинации;
- очистка призабойной зоны добывающих и нагнетательных скважин с целью увеличения притока и приемистости.

При microbiological воздействии на начальных этапах разложения органических веществ в пласте ведущая роль принадлежит аэробным микроорганизмам, в том числе углеводородокисляющим, которые способны разлагать углеводороды, углеводы и другие органические соединения и «перерабатывать» их в компоненты микробной клетки. Одновременно в процессе разложения микроорганизмы выделяют в окружающую среду продукты окисления – спирты, кислоты и другие соединения. Последующие этапы разложения органических соединений связаны, в основном, с активностью анаэробных

микроорганизмов и образованием газов.

Начиная с середины 80-х годов на месторождениях Азербайджана внедряются различные модификации биотехнологий повышения нефтеотдачи, использующие различные отходы производства [4, 5]. Широкое применение нашел способ закачки композиции активного ила и молочной сыворотки. Активный ил (АИ), используемый в качестве источника микроорганизмов, является отходом Говсанинской аэростанции, получаемым в результате очистки производственных и бытовых сточных вод. Молочная сыворотка (МС) – побочный продукт молочно-кислого производства, содержит все необходимые элементы питания для различных групп микроорганизмов. Как показывает практика, использование отходов производства взамен недоступных и дорогостоящих химических реагентов является перспективным направлением воздействия на пласт с целью повышения нефтеотдачи. Использование малоценных и ресурсосберегающих отходов, имеющих неограниченные ресурсы, повышает эффективность метода, а также решается проблема утилизации и улучшения экологической обстановки разрабатываемых месторождений.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

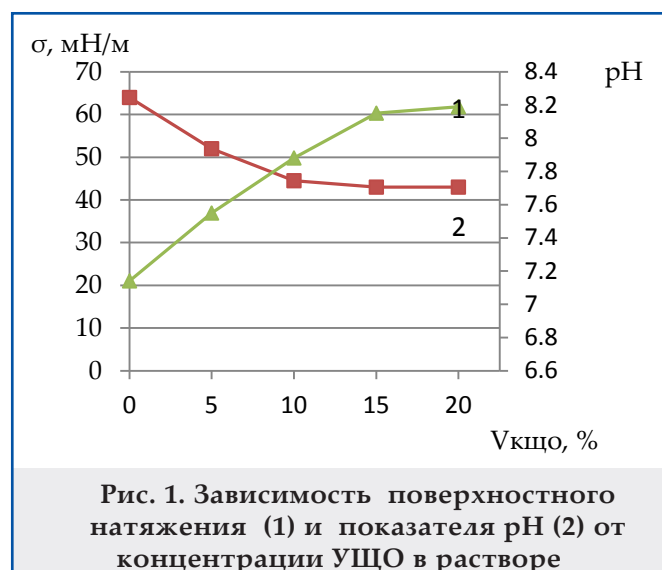
Как показали экспериментальные и практические исследования, технология воздействия на пласт композицией, включающей молочную сыворотку и активный ил дает достаточно высокие результаты. Однако кислая среда молочной сыворотки (рН 4-5) негативно влияет на скорость развития и размножения микроорганизмов. Для ускорения процессов метаболизма в качестве

питательной среды мы использовали реагент с высоким водородным показателем.

Для повышения эффективности микробиологических методов воздействия на пласт и поиска более дешевой по сравнению с молочной сывороткой питательной среды для микроорганизмов активного ила, в лабораторных условиях проводились исследования с использованием углеводородно-щелочного отхода (рН=9.2). В состав углеводородно-щелочного отхода (УЩО), побочного продукта Бакинского нефтеперерабатывающего завода им. Г. Алиева, входит керосин-лигроиновая фракция (6.3-7.0 %), соли нафтеновых кислот (4.5-5.0 %), масла (1.8-2.5 %) и вода (остальное). Наличие солей нафтеновых кислот в составе композиции способствует снижению поверхностного натяжения. Легкоусвояемые органические соединения углеводородно-щелочного отхода, составляющие 13-15 % общего объема, обеспечивают питательными веществами микроорганизмы активного ила и предотвращается резкое окисление среды.

На основе лабораторных исследований установлено, что когда в составе культуральных жидкостей недостаточный объем биологически активных реагентов для введенных в пласт нефтеокисляющих микроорганизмов, субстратом для них служит углеводороды пластовой нефти. Учитывая это разработана технология, основанная на закачке в пласт композиции, включающую углеводородно-щелочной отход, в состав которой входят 13-15 % органических соединений. При добавке углеводородно-щелочного отхода скорость развития и размножения микроорганизмов увеличивается.

На основе результатов исследований разработан способ повышения нефтеотдачи пласта, заключающийся в закачке в пласт композиции, состоящей из активного ила с добавкой 10-15 % углеводородно-щелочного отхода [6]. В результате воздействия образуются продукты жизнедеятельности микроорганизмов: газы, органические кислоты, спирты, биоПАВы, биополимеры и др. Генерация указанных соединений создает оптимальные условия для протекания дальнейших микробиологических процессов в пласте. Образованные нефтewытесняющие агенты способствуют уменьшению межфазного натяжения, растворению карбонатных цементирующих пород и разложению тяжелых компонентов нефти, улучшают смачиваемость пород и т.д. Все эти процессы в совокупности увеличивают нефтеотдачу пласта. Неограниченные ресурсы и дешевизна используемых реагентов - активного ила и углеводородно-щелочного отхода повыша-



ют эффективность предложенного способа.

Эффективность способа подтверждена результатами лабораторных исследований. Влияние добавки различной концентрации углеводородно-щелочного отхода к активному илу на рН и поверхностное натяжение смеси на границе с воздухом показано на рис.1.

Как видно из рисунка, с увеличением концентрации углеводородно-щелочного отхода в активном иле, значение поверхностного натяжения снижается с 63.8 до 44.5 мН/м. А значение показателя рН с увеличением концентрации УЩО увеличивается с 7.1 до 8.2. При значении концентрации УЩО выше 15 % значение поверхностного натяжения и рН почти не изменяется.

В лабораторных условиях на аппарате Зонгена изучен процесс газообразования смеси пластовых флюидов с добавкой биореагентов. В колбы заполнялись 40 мл нефти, 200 мл пластовой воды, 150 мл активного ила и различные концентрации углеводородно-щелочного отхода. Для сравнения в первые две контрольные колбы углеводородно-щелочной отход не добавляется, исследование проводится с активным илом и композицией активного ила и молочной сыворотки. Колбы герметично закрывались, образованный газ через стеклянные трубки и эластичный шланг поступал в газосборник. Эксперименты проводились в аэробных условиях, которые обеспечивались воздушной подушкой в колбе, т.е. создавались условия, близкие к условиям призабойной зоны нагнетательных скважин. Продолжительность экспериментов составляла 25 суток (табл. 1).

Как видно из таблицы, при добавке 5 % УЩО в раствор время адаптации составляет 12 суток, а количество образованного газа увеличивается до 520 мл. С повышением концентрации УЩО ускоряется процесс адаптации микроорганизмов и увеличивается объем образованного газа. При 15 % добавке УЩО время адаптации составляет 5 суток, а количество генерированного газа 1365 мл. Последующее увеличение концентрации УЩО оказывает незначительное влияние на продолжительность адаптации микроорганизмов и объем полученного газа. Таким образом, оптимальная концентрация УЩО в растворе составляет 15 %.

Увеличение газообразования композиции можно обосновать также тем, что добавка УЩО к раствору способствует увеличению рН среды, что благоприятно отражается на развитии микроорганизмов. УЩО является дополнительным питанием для углеводородокисляющих бактерий в аэробной среде призабойной зоны скважины, что также положительно влияет на жизнедеятельность микроорганизмов и, соответственно, увеличивается количество образованных продуктов нефтевытеснения.

В контрольных колбах при добавке к пластовым флюидам активного ила и композиции активного ила с молочной сывороткой газообразование составило, соответственно, 360 и 544 мл, а время адаптации 14 и 2 суток.

Влияние предложенной композиции на коэффициент вытеснения исследовалось на линейных моделях пласта. Схема экспериментальной установки показана на рисунке 2. В пористой среде,

Результаты исследования процесса газообразования Таблица 1

№ опыта	Компоненты биосистемы	Количество добавки УЩО, %	Время адаптации, сутки	Количество образованного биогаза, мл
1	контроль: пластовая вода, нефть активный ил	-	14	360
2	контроль: пластовая вода, нефть активный ил +молочная сыворотка	-	2	544
3	пластовая вода, нефть активный ил + УЩО	5	12	520
4	пластовая вода, нефть активный ил + УЩО	10	9	1090
5	пластовая вода, нефть активный ил + УЩО	15	5	1365
6	пластовая вода, нефть активный ил + УЩО	20	4	1315



Рис. 2. Схема экспериментальной установки

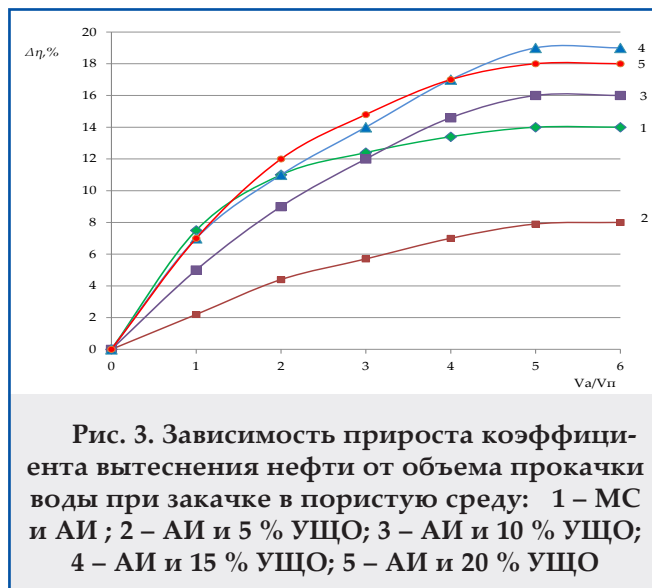


Рис. 3. Зависимость прироста коэффициента вытеснения нефти от объема прокачки воды при закачке в пористую среду: 1 – МС и АИ; 2 – АИ и 5 % УЩО; 3 – АИ и 10 % УЩО; 4 – АИ и 15 % УЩО; 5 – АИ и 20 % УЩО

состоящей из кварцевого песка, после насыщения моделей пластовой водой осуществляли вытеснение воды нефтью при постоянном перепаде давления и температуре. В дальнейшем для создания моделей обводненного пласта нефть вытеснялась пластовой водой. Затем в пористую среду закачивали композиции биореагентов, в первую модель закачивали композицию МС и АИ в соотношении 1:2, а в последующие – композиции АИ с добавкой, соответственно, 5, 10, 15 и 20 % УЩО и модели закрывались на период адаптации (5 суток). После завершения периода адаптации модели открывали и через них прокачивали пластовую воду. Процесс продолжали до получения на выходе чистой воды.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента нефтевытеснения от объема закачанного рабочего агента. Как видно из рисунка, при добавке 5 % УЩО к АИ значение прироста коэффициента вытеснения составляет 8 %. (кривая 2) Увеличение количества УЩО в растворе биореагента до 10 % приводит к резкому двукратному повышению значения $\Delta\eta$ (кривая 3). При добавке 15 % УЩО к АИ прирост коэффициента вытеснения принима-

ет максимальное значение, равное 19 % (кривая 4). Такое значительное увеличение происходит также в результате резкого уменьшения поверхностного натяжения биореагента при добавке УЩО. Дальнейшее повышение количества УЩО в растворе биореагента способствует наибольшему увеличению коэффициента нефтевытеснения (15 %) при прокачке до 3х объемов пор пластовой воды (кривая 5). Однако конечный прирост коэффициента нефтевытеснения после 6-ти объемов прокачки пластовой воды достигает 18 %.

Для сравнения в первую модель закачивалась композиция МС и АИ (кривая 1). Как видно из рисунка, уже при прокачке одного объема пор воды коэффициент вытеснения достигает максимального значения. Это можно объяснить низким временем адаптации микроорганизмов к условиям среды. Но при дальнейшей прокачке воды темп увеличения коэффициента нефтевытеснения снижается и при шестикратном объеме прокачки пластовой воды значение $\Delta\eta$ составляет 14 %.

Таким образом, закачка композиции АИ с добавкой 10-15 % УЩО позволяет увеличить конечный коэффициент вытеснения нефти до 19 %.

Выводы

1. Предложен способ микробиологического повышения нефтеотдачи пласта путем закачки в качестве источника микроорганизмов - активного ила, а в качестве субстрата для них - углеводородно-щелочного отхода, в состав которого входят органические соединения, являющиеся дополнительным питанием для микроорганизмов.
2. Добавка углеводородно-щелочного отхода в композицию способствует увеличению рН среды и уменьшению поверхностного натяжения.
3. Экспериментально установлено, что при добавке 10-15 % углеводородно-щелочного отхода уменьшается время адаптации микроорганизмов, увеличивается объем образованного газа, а прирост коэффициента вытеснения достигает 19 %

Литература

1. Ke, C.-Y., Sun, W.-J., Li, Y.-B., et al. (2018). Polymer-assisted microbial enhanced oil recovery (MEOR). *Energy Fuels*, 32(5), 5885–5892.
2. Wang, X., Zhu, W., Li, H., Song, Zh. (2018). Pore-scale mechanisms of the synergistic effects between microbial cultures and chemical surfactants on oil recovery. *Energy Fuels*, 32(12), 12319–12327.
3. Ibragimov, Kh. M., Abdullayeva, F., Guseynova, N. I. (2015, November). Experience of microbial enhanced oil recovery methods at Azerbaijan fields. SPE-177377-MS. Presented at the *SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition, Baku, Azerbaijan*.
4. Рзаева, С. Д. (2019). Новый микробиологический метод повышения нефтеотдачи пластов, содержащих высокоминерализованную воду. *SOCAR Proceedings*, 2, 38-44.
5. Исмаилов, Н. М., Рзаева, Ф. М. (1998). Биотехнология нефтедобычи. Принципы и применение. *Баку: Элм*.
6. Рзаева, Ф. М., Алиев, Е. М., Гурбанов, Р. А. и др. (2007). Способ воздействия на пласт. *Патент Азербайджанской Республики I 20070037*.

References

1. Ke, C.-Y., Sun, W.-J., Li, Y.-B., et al. (2018). Polymer-assisted microbial enhanced oil recovery (MEOR). *Energy Fuels*, 32(5), 5885–5892.
2. Wang, X., Zhu, W., Li, H., Song, Zh. (2018). Pore-scale mechanisms of the synergistic effects between microbial cultures and chemical surfactants on oil recovery. *Energy Fuels*, 32(12), 12319–12327.
3. Ibragimov, Kh. M., Abdullayeva, F., Guseynova, N. I. (2015, November). Experience of microbial enhanced oil recovery methods at Azerbaijan fields. SPE-177377-MS. Presented at the *SPE Annual Caspian Technical Conference & Exhibition, Baku, Azerbaijan*.
4. Rzaeva, S. J. (2019). New microbiological method of oil recovery increase containing highly mineralized water. *SOCAR Proceedings*, 2, 38-44.
5. Ismailov, N. M., Rzaeva, F. M. (1998). *Biotekhnologiya neftedobychi. Principy i primenenie. Baku: Elm*.
6. Rzaeva, F. M., Aliev, E. M., Gurbanov, R. A. i dr. (2007). *Sposob vozdeystviya na plast. Patent Azerbajdzhanskoj Respubliki I 20070037*

**Использование биологически активных реагентов
в методах интенсификации добычи нефти****С.Дж. Рзаева***НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан***Реферат**

Для повышения эффективности микробиологических методов предложен способ повышения нефтеотдачи пласта путем закачки активного ила с добавкой 10-15 % углеводородно-щелочного отхода, в состав которого входят органические соединения, являющиеся дополнительным питанием для микроорганизмов активного ила. Выявлено, что добавка углеводородно-щелочного отхода к активному илу способствует увеличению pH среды и уменьшению поверхностного натяжения. Экспериментально установлено, что при закачке активного ила с добавкой 10-15 % углеводородно-щелочного отхода уменьшается время адаптации микроорганизмов, увеличивается объем образованного газа, а прирост коэффициента вытеснения достигает 19 %.

Ключевые слова: микробиологическое воздействие; нефтеотдача; время адаптации; газообразование; модель пласта; коэффициент вытеснения.

**Neft hasilatının intensivləşdirilməsi metodlarında
bioloji aktiv reagentlərin istifadəsi****S.C. Rzayeva***"Neftqazelnitədqiqatlayihə" İnstitutu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan***Xülasə**

Məqalədə mikrobioloji metodların effektivliyinin artırılması məqsədilə aktiv lillə tərkibində aktiv lil mikroorqanizmləri üçün əlavə qida olan üzvi birləşmələrin olduğu karbohidrogen-qələvi tullantılarından 10-15 % əlavə edilərək laya vurulması təklif olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, aktivləşdirilmiş lilə karbohidrogen-qələvi tullantısının əlavə edilməsi mühitin pH səviyyəsinin artmasına və səthi gərginliyin azalmasına səbəb olur. Eksperimentlər vasitəsilə müəyyən edilmişdir ki, aktiv lil 10-15 % karbohidrogen-qələvi tullantısı əlavə edilməklə vurulduqda mikroorqanizmlərin adaptasiya müddəti azalır, qazın əmələ gəlmə həcmi artır, sıxışdırma əmsalının artımı isə 19 % -ə çatır.

Açar sözlər: mikrobioloji təsir; neftverimi; adaptasiya müddəti; qazəmələgəlmə; lay modeli; sıxışdırma əmsalı.