



УДК 622.276

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ ПРИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПЛАСТ



INTENSIFICATION OF OIL PRODUCTION USING MICROBIOLOGICAL IMPACT ON THE RESERVOIR

Рзаева Сабина Джангир

кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник отдела
проектирования воздействия на пласт и ПЗС,
SOCAR, НИПИ «Нефтегаз»,
Азербайджанская Республика
Rsabina73@mail.ru

Rzayeva Sabina Jahangir

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Design of impacts on the reservoir
and wellbottom zone
Department Leading Researcher,
SOCAR, Oil Gas Scientific Research Project
Institute, Azerbaijan
Rsabina73@mail.ru

Аннотация. Для повышения эффективности микробиологических методов предложен способ повышения нефтеотдачи пласта путем закачки активного ила с добавкой 10–15 % углеводородно-щелочного отхода – побочного продукта Бакинского нефтеперерабатывающего завода им. Г. Алиева, 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 %.

Annotation. To increase the efficiency of microbiological methods, a method is proposed for increasing oil recovery by pumping activated sludge with the addition of 10–15 % hydrocarbon-alkaline waste, a by-product of the Baku Oil Refinery named after H. Aliyev, that contains organic compounds, which are additional nutrition for microorganisms of activated sludge. The researched showed that the addition of hydrocarbon-alkali waste to activated sludge leads to an increase of the medium's pH and to a decrease of surface tension. It was experimentally established that when injecting activated sludge with the addition of 10–15 % hydrocarbon-alkaline waste, the adaptation time of microorganisms decreases, the volume of gas formed increases, and the increase in the displacement coefficient reaches 19 %.

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

Keywords: signal in the far field of the group of pneumatic sources, signal in the near field, hydrophone, iterative computational process.

Введение

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 микробиологические методы воздействия на пласт, в которых используются побочные продукты производства и достигается одновременное комплексное воздействие нескольких механизмов довытеснения нефти, являются приоритетным направлением повышения нефтеотдачи.

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 микробиологических процессов непосредственно в пласте [1, 2]. Предпочтительной представляется вторая группа методов, решающая комплекс технологических задач, таких как:

- микробиологическое заводнение пластов с вводом только питания (питательное заводнение) и композиции питательной среды с микроорганизмами;
- микробиологическая деградация нефти с целью ее довытеснения;
- 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 микробиологическом 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 на месторождениях Азербайджана внедряются различные модификации биотехнологий повышения нефтеотдачи, использующие различные отходы производства [3]. 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 не ограниченные ресурсы, повышает эффективность метода, а также решается проблема утилизации и улучшения экологической обстановки разрабатываемых месторождений.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

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. 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 результатов исследований разработан способ повышения нефтеотдачи пласта, заключающийся в закачке в пласт композиции, состоящей из активного ила с добавкой 10–15 % углеводородно-щелочного отхода. 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 нефтевытесняющие 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 повышают эффективность предложенного способа.

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

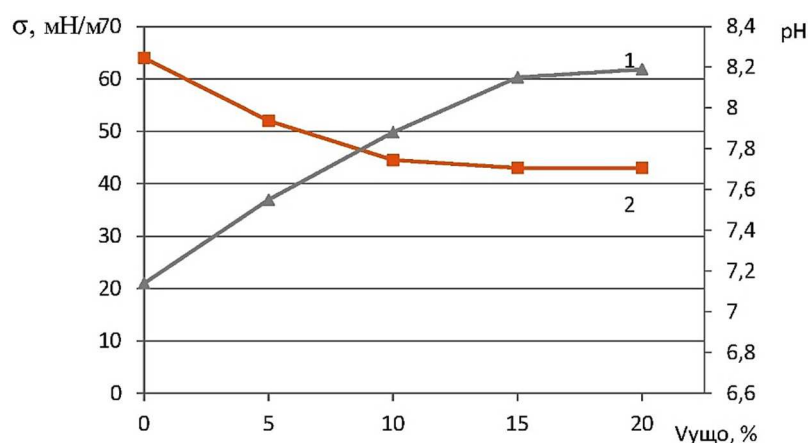


Рисунок 1 – Зависимость поверхностного натяжения (1) и показателя pH (2) от концентрации УЩО в растворе



Как видно из рисунка, с увеличением концентрации УЩО 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 УЩО. Для сравнения в первые две контрольные колбы УЩО 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).

Таблица 1 – Результаты исследования процесса газообразования

№ 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

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 количества 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 углекислородоокисляющих 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. В пористой среде, 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 нефти. На рисунке 2 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 принимает 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 %.

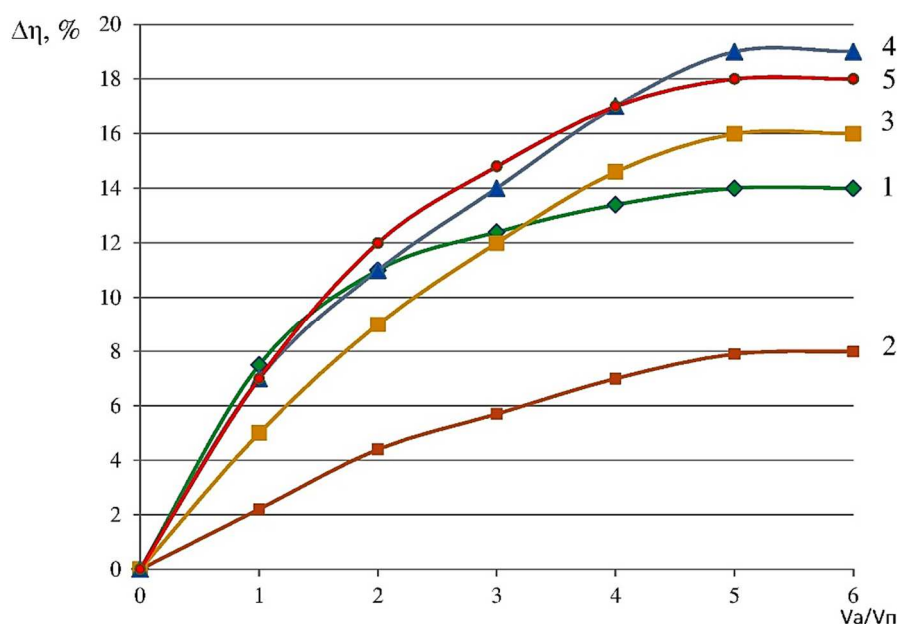


Рисунок 2 – Зависимость прироста коэффициента вытеснения нефти от объема прокачки воды при закачке в пористую среду:

1 – МС и АИ; 2 – АИ и 5 % УЩО; 3 – АИ и 10 % УЩО; 4 – АИ и 15 % УЩО; 5 – АИ и 20 % УЩО

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

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.

Добавка углеводородно-щелочного отхода в композицию способствует увеличению рН среды и уменьшению поверхностного натяжения.

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. Cong-Yu Ke, Wu-juan Sun, Yong-bin Li, Junfeng Hui, Guomin Lu, Xiaoyan Zheng, Qun-Zheng Zhang, and Xun-Li Zhang. Polymer-assisted microbial enhanced oil recovery (MEOR) // Energy Fuels. – 2018. – DOI: 10.1021/acs.energyfuels.8b00812.
2. Xue Wang, Weiyao Zhu, Hua Li, and Zhiyong Song. Pore-scale mechanisms of the synergistic effects between microbial cultures and chemical surfactants on oil recovery // Energy Fuels. – 2018. – DOI:10.1021/acs.energyfuels.8b03092.
3. Исмаилов Н.М., Рзаева Ф.М. Биотехнология нефтедобычи. Принципы и применение. – Баку : Элм, 1998. – 200 с.
4. Способ воздействия на пласт. Патент Азербайджанской Республики I 20070037 // Ф.М. Рзаева, Е.М. Алиев, Р.А. Гурбанов и др.



References

1. Cong-Yu Ke, Wu-juan Sun, Yong-bin Li, Junfeng Hui, Guomin Lu, Xiaoyan Zheng, Qun-Zheng Zhang, and Xun-Li Zhang. Polymer-assisted microbial enhanced oil recovery (MEOR) // Energy Fuels. – 2018. – DOI: 10.1021/acs.energyfuels.8b00812.
2. Xue Wang, Weiyao Zhu, Hua Li, and Zhiyong Song. Pore-scale mechanisms of the synergistic effects between microbial cultures and chemical surfactants on oil recovery // Energy Fuels. – 2018. – DOI:10.1021/acs.energyfuels.8b03092.
3. Ismailov N.M., Rzayeva F.M. Biotechnology of oil production. Principles and application. – Baku : Elm, 1998. – 200 p.
4. The method of stimulation. Patent of the Azerbaijan Republic I 20070037 // F.M. Rzayeva, E.M. Aliyev, P.A. Qurbanov and others.