

РЕЗУЛЬТАТЫ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБ ИЗ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН СИБИРСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ю. Ф. Антонов

Пермский государственный технический университет

И. Б. Ившина

Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН

С. В. Осипов

**** ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»*

Микробиологическая форма жизни сопутствует как этапу формирования углеводородных залежей, так и производственному циклу разработки нефтегазовых месторождений. Если жизнедеятельность реликтовых колоний микроорганизмов не оказывает существенного влияния на технологические процессы добычи углеводородов, то искусственное изменение их содержания в пустотном пространстве горных пород в процессе заводнения пластов при поддержании пластового давления (ППД) вызывает серьезные осложнения при разработке месторождений.

Закачка зараженных бактериями вод через систему ППД сопровождается такими осложнениями как: биологическая коррозия, сероводородное загрязнение воды и нефти, снижение проницаемости пласта в околоскважинных зонах (ОЗП) в результате кольматации коллектора.

Основными предпосылками роста концентрации микрофлоры в ОЗП и УЗП (удаленная зона пласта) является обогащение колоний микроорганизмов соединениями кислорода, азота, фосфора и серы /1/, которое интенсифицируется при заводнении месторождений. Обладая высокой дисперсностью (0,5...20 мкм) и способностью закрепляться на твердой поверхности /2/, бактерии вызывают прочную кольматацию продуктивного пласта, что может привести к резкому затуханию приемистости скважин. По данным микробиологических исследований проб жидкости по ряду месторождений Пермской области /3/ численность микроорганизмов в закачиваемой воде колеблется от 10^7 до 10^{12} клеток/дм³, в пробах из ОЗП – 10^{16} ... 10^{21} клеток/дм³, в УЗП добывающих скважин – 10^8 ... 10^{16} клеток/дм³. Для месторождений Башкортостана содержание микрофлоры в ОЗП нагнетательных скважин /4/ составляет 10^7 ... 10^{10} клеток/дм³.

В соответствии с ОСТ 39-225-88 в воде для заводнения нефтяных пластов не допускается присутствие сульфатовосстанавливающих бактерий (СВВ), если изначально в ней отсутствует сероводород, но более четкого

указания по нормативному содержанию микроорганизмов различных групп в ОСТе нет. Например, стандартом API (США) допустимое содержание бактерий в закачиваемой воде для использования при заводнении пластов нефтяных месторождений не должно превышать 10^7 клеток в 1 дм^3 воды.

Микробиологические исследования проб в скважинах № № 1 и 2 (номера скважин условные) Сибирского месторождения проводились с целью изучения микрофлоры, сформировавшейся в ОЗП и УЗП в процессе их эксплуатации. Микробиологические исследования проводились для оценки численности семейства 3-х групп бактерий в отбираемых пробах жидкости: углеводородокисляющих (УОБ), денитрифицирующих (ДФБ) и СВБ.

Результаты микробиологических исследований скважинных проб представлены в таблице.

Вода в полученных пробах № № 0...4, 6 (скв. 1) визуально прозрачная, с углеводородным запахом и осадком светло-коричневого цвета. Проба № 2 (скв. 2) отличается хлопьевидным светло-желтым осадком. Отдельные пробы № № 3...6 (скв. 2) и № 9 (скв. 1) достаточно мутные, песочного цвета, с осадком темно-коричневого цвета. Вода в пробах № № 0, 1 и 9 (скв. 2) мутная, без видимого осадка. В пробе № 9 (скв. 1) присутствует нефтяная пленка толщиной 1,8 см.

По значению кислотности (pH) исследуемые пробы можно распределить следующим образом: нейтральные с $pH = 6,60...7,40$ пробы № № 0, 3, 4, 9 (скв. 1) и 0, 3...6, 9 (скв. 2); слабокислые с $pH = 6,10...6,40$ пробы № № 1, 6 (скв. 1) и № 1 (скв. 2) и кислые с $pH = 5,60...6,00$ пробы № 2 (скв. 1) и № 2 (скв. 2).

Для идентификации и количественного учета УВБ в культуре накопления использовали жидкую минеральную среду сложного химического состава с $pH = 7,0$. Стерилизацию питательной среды проводили при температуре 121°C в течение 30 мин. В качестве источника углерода и энергии добавлялось 2,0 об. % дизельного топлива. Процедура селективного выделения и учета УВБ проводилась с использованием стерильных полимерных 96-ти луночных планшетов однократного применения и автоматических многоканальных пипеток на 5...50 и 50...30 мкл. Посевы инкубировались при температуре 28°C в течение 14 суток. В качестве индикатора использовали йодонитротетразолий фиолетовый, действующий в качестве конкурентного кислороду акцептора электронов в электрон-транспортной цепи аэробных организмов. Критерием развития УОБ служило появление нерастворимого в воде формазана в виде красно-фиолетового осадка в присутствии активно респираторных микроорганизмов. Наиболее вероятное число микроорганизмов в 1 мл раствора определяли с помощью таблиц Мак-Креди. Все определения проводились при восьмикратном повторении.

Выделение аборигенных культур СВБ из исследуемого образца проводили на жидкой питательной среде Постгейта «С», наиболее благоприятной для максимального роста данной группы микроорганизмов. Количественный учет осуществлялся после инкубации в течение 30 сут при температуре 30°C с последующей обработкой по таблицам Мак-Креди. Критерием развития СВБ служило появление черного осадка в среде.

Данные микробиологического анализа скважинных проб

№ п/п	№ скважины	Код пробы	Количество скважинных объемов, ($V_{оп}/V_{скв}$)	Общая минерализация проб, г/дм ³	Показатель кислотности проб	Численность УОБ, (клеток/дм ³) (**/***)	Численность ДФБ, (клеток/дм ³)	Численность СВБ, (клеток/дм ³)
1	1	0	0 ВОДОВОД	1,568	6,98	$\frac{1,50 \cdot 10^5}{(0,75 \dots 2,65)} \cdot 10^5$	$\frac{3,50 \cdot 10^2}{(0,28 \dots 4,5)} \cdot 10^3$	$\frac{6,50 \cdot 10^3}{(3,0 \dots 9,5)} \cdot 10^3$
2	1	1	0,015	19,712	6,24	$\frac{1,20 \cdot 10^6}{(0,5 \dots 2,5)} \cdot 10^6$	$\frac{0,90 \cdot 10^3}{(0,2 \dots 4,2)} \cdot 10^3$	$\frac{9,50 \cdot 10^5}{(2,0 \dots 44,5)} \cdot 10^5$
3	1	2	0,204	20,115	5,73	$\frac{1,90 \cdot 10^4}{(0,8 \dots 3,9)} \cdot 10^4$	0	$\frac{4,50 \cdot 10^4}{(0,5 \dots 11,7)} \cdot 10^3$
4	1	4	0,61	42,775	6,65	$\frac{3,40 \cdot 10^3}{(1,0 \dots 9,1)} \cdot 10^3$	0	$\frac{6,50 \cdot 10^3}{(0,1 \dots 2,8)} \cdot 10^3$
5	1	5	0,98	16,975	7,18	$\frac{1,40 \cdot 10^4}{(0,6 \dots 2,9)} \cdot 10^4$	0	$\frac{6,00 \cdot 10^2}{(0,1 \dots 2,8)} \cdot 10^3$
6	1	6	1,685	6,758	6,24	$\frac{4,10 \cdot 10^3}{(1,2 \dots 12,0)} \cdot 10^3$	0	$\frac{2,00 \cdot 10^3}{(0,4 \dots 9,4)} \cdot 10^3$
7	1	9	5,46	0,896	6,95	$\frac{3,70 \cdot 10^{10}}{(1,5 \dots 7,2)} \cdot 10^{10}$	0	$\frac{9,50 \cdot 10^4}{(2,0 \dots 44,5)} \cdot 10^3$
8	2	0	0 ВОДОВОД	0,975	7,10	$\frac{1,60 \cdot 10^5}{(0,7 \dots 3,2)} \cdot 10^5$	$\frac{0,40 \cdot 10^3}{(0,1 \dots 1,9)} \cdot 10^3$	$\frac{3,00 \cdot 10^2}{(0,1 \dots 1,4)} \cdot 10^3$
9	2	1	0,386	58,136	6,40	$\frac{2,36 \cdot 10^6}{(0,9 \dots 3,9)} \cdot 10^6$	$\frac{1,40 \cdot 10^4}{(0,9 \dots 1,9)} \cdot 10^4$	$\frac{9,50 \cdot 10^3}{(0,1 \dots 1,8)} \cdot 10^4$
10	2	2	1,000	21,125	5,98	$\frac{1,10 \cdot 10^6}{(0,5 \dots 2,4)} \cdot 10^6$	0	$\frac{4,00 \cdot 10^2}{(0,1 \dots 1,9)} \cdot 10^3$
11	2	3	2,308	8,185	6,75	$\frac{2,90 \cdot 10^4}{(1,2 \dots 6,8)} \cdot 10^4$	0	0
12	2	4	2,692	9,800	7,10	$\frac{8,40 \cdot 10^4}{(3,2 \dots 19,0)} \cdot 10^4$	0	$\frac{9,00 \cdot 10^3}{(0,2 \dots 4,2)} \cdot 10^4$
13	2	6	4,846	1,878	6,98	$\frac{2,30 \cdot 10^6}{(0,9 \dots 4,9)} \cdot 10^6$	$\frac{2,50 \cdot 10^3}{(0,5 \dots 11,7)} \cdot 10^3$	$\frac{2,50 \cdot 10^4}{(0,5 \dots 11,7)} \cdot 10^4$
14	2	9	5,308	1,213	7,41	$\frac{1,10 \cdot 10^7}{(0,5 \dots 2,4)} \cdot 10^7$	0	$\frac{1,95 \cdot 10^4}{(2,0 \dots 44,5)} \cdot 10^4$

** – среднеквадратичное отклонение; *** – доверительный интервал

Выявление ДФБ осуществлялось посевом исследуемого субстрата в среду Гильтея. Для более активного протекания процесса денитрификации создавали условия ограниченного доступа воздуха к культуре. Количественное определение ДФБ проводили методом предельных разведений после культивирования в течение 10 сут при температуре 28 °С. Основными признаками развития ДФБ служили: газовыделение, исчезновение из питательной среды нитратов, увеличение *pH* и помутнение среды.

Микроорганизмы, обладающие способностью использовать нефтяные углеводороды в качестве единственных источников углерода и энергии, обнаружены во всех исследуемых водных образцах. Большинство проб № № 2, 3, 4, 6 (скв. 1), 1 и 4 (скв. 2) характеризуются низким содержанием естественной углеводородокисляющей микрофлоры. Численность УФБ в них составляет не более десятка клеток в 1 мл воды. Данных микроорганизмов на 2...3 порядка больше ($10^6 \dots 10^7$ клеток /мл) в пробах воды № 1 (скв. 1) и № № 1, 4, 9 (скв. 2). Максимальное количество ($3,7 \cdot 10^{10}$ клеток/дм³) УОБ выявлено в водном растворе пробы № 9 (скв. 1), содержащей слой нефти на поверхности.

Как показали проведенные исследования, образцы пластовых вод характеризуются сравнительно низким содержанием СВБ. Их количество составляет от 300 до 900 клеток на 1 литр воды в пробах № № 3, 4 (скв. 1) и № № 1, 2, 4 (скв. 2). При этом интенсивность развития СВБ не превышает 3 условных единиц (у. е.) по таблице оценки интенсивности развития микроорганизмов. Пробы № № 2, 9 (скв. 1) и № № 6, 9 (скв. 2) отличаются не только более высоким содержанием СВБ, но и повышенной интенсивностью развития микроорганизмов данной группы – характерный черный осадок сернистого железа визуально зарегистрирован на третьи сутки культивирования, что соответствует 10 у. е. по таблице оценки интенсивности процесса роста. Максимальное количество ($9,5 \cdot 10^5$ клеток/дм³) СВБ и наиболее высокий уровень интенсивности развития (15 у. е.) зарегистрированы в пробе № 1 скважина № 1. В пробе № 3 (скв. 2) микроорганизмы данной группы не обнаружены.

ДФБ в подавляющем большинстве образцов не были обнаружены. Слабовыраженный процесс газообразования, сопровождающийся помутнением культурной среды и исчезновением из раствора нитратов, отмечен в пробах № № 0 и 1 (скв. 1) и № № 0, 1 и 6 (скв. 2). Численность ДФБ при этом не превышает $2,5 \cdot 10^3$ клеток в 1 дм³ воды.

По всем пробам доминирует численность УОБ, которая распределяется следующим образом: водовод – от $1,50 \cdot 10^5$ клеток/ дм³ (скв. 1) до $1,6 \cdot 10^5$ клеток/ дм³ (скв. 2); ствол скважины – от $1,2 \cdot 10^6$ клеток/ дм³ (скв. 1) до $2,6 \cdot 10^6$ клеток/ дм³ (скв. 2); ОЗП (при дренировании от 1 до 4 скважинных объемов) – $4,1 \cdot 10^3$ клеток/ дм³ (скв. 1) до $8,4 \cdot 10^4$ клеток/ дм³ (скв. 2); УЗП – от $1,1 \cdot 10^7$ клеток/ дм³ (скв. 2) до $3,7 \cdot 10^{10}$ клеток/ дм³ (скв. 1).

Литература

3. Розанова Е. П., Кузнецов С. И. Микрофлора нефтяных месторождений. – М.: Наука, 1974. – 197 с.
4. Звягинцев Д. Г. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями. – М.: МГУ, 1973. – 176 с.
5. Бицидная обработка нефтяных месторождений НГДУ «Полазна-нефть» / Экспресс-информ. Сер. Разработка нефтяных месторождений и методы повышения нефтеотдачи / Силищев Н. И., Ермаков О. Л., Матяшов С. В. и др. – М.: ВНИИОЭНГ, 1992. – № 7 – С. 1–4.
6. Хазипов Р. Х. Химические средства защиты от биоповреждений в нефтяной промышленности // Нефтяное хозяйство. 1985. – № 10. – С. 28–30.