



УДК 622.276.031:532.11

## О ПРОМЫСЛОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМОПОЛИМЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «НЕФТ ДАШЛАРЫ» (АЗЕРБАЙДЖАН)

### ABOUT FIELD TESTING OF TECHNOLOGIES USING THERMOACTIVE POLYMER COMPOSITIONS ON NEFT DASHLARY OFFSHORE FIELD (AZERBAIJAN)

**Сулейманов Багир Алекпер**

доктор технических наук,  
профессор, член-корреспондент НАНА,  
заместитель директора по разработке,  
НИПИ «Нефтегаз»,  
Государственная нефтяная компания  
Азербайджанской Республики (SOCAR)

**Лятифов Яшар А.**

Вице-президент по разработке месторождений,  
Государственная нефтяная компания  
Азербайджанской Республики (SOCAR)  
Yashar.Latifov@socar.az

**Ибрагимов Хыдыр Менсум**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий отделом воздействия на пласт и ПЗС,  
НИПИ «Нефтегаз»,  
Государственная нефтяная компания  
Азербайджанской Республики (SOCAR)  
Khidir.Ibrahimov@socar.az

**Гусейнова Наида Исмет**

кандидат технических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник  
отдела проектирования воздействия на пласт и ПЗС,  
НИПИ «Нефтегаз»,  
Государственная нефтяная компания  
Азербайджанской Республики (SOCAR)  
nahide.huseynova@socar.az

**Аннотация.** В данной работе проведены результаты успешной реализации технологии воздействия на нефтяную залежь с использованием термоактивной полимерной композиции на месторождении «Нефт Дашлары». Использование данной технологии позволяет выровнять охват участка воздействием, как по площади, так и по вертикали с использованием меньших объемов агента и при незначительном изменении давления нагнетания.

**Ключевые слова:** методы повышения нефтеотдачи, методы воздействия на пласт, термоактивный полимер, анализ гидродинамического состояния пласта, интерференция скважин, функции тока и потенциалов.

**Suleymanov Bagir Alekper**

Doctor of Engineering,  
Professor, Corresponding Member of ANAS,  
Deputy Director for development,  
NIPI «Neftegaz»,  
State Oil Company of Azerbaijan Republic  
(SOCAR)

**Lyatifov Yashar A.**

Vice-president for development of fields,  
State Oil Company of Azerbaijan Republic  
(SOCAR)  
Yashar.Latifov@socar.az

**Ibragimov Hydyr Mensum**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate professor,  
Head of Department  
of impact on layer and CCD,  
NIPI «Neftegaz»,  
State Oil Company of Azerbaijan Republic  
(SOCAR)  
Khidir.Ibrahimov@socar.az

**Guseynova Naida Ismet**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate professor,  
Leading Researcher of an department  
of Design of impacts on the reservoir  
and wellbottom zone,  
NIPI «Neftegaz»,  
State Oil Company of Azerbaijan Republic  
(SOCAR)  
nahide.huseynova@socar.az

**Annotation.** The paper considers the results of the Neft Dashlary offshore field tests on enhanced oil recovery with using the technology of reservoir stimulation with the help of a thermoactive polymer composition. This technology allows limiting the movement of water in high permeability zones of the reservoir, correspondingly, to reduce water production in watered areas, improve oil displacement, and increase the final oil production factor using smaller volumes of the agent and with a slight change in injection pressure.

**Keywords:** enhanced oil recovery methods, methods of impact on a reservoir, thermoactive Polymer analysis of the hydrodynamic state of a reservoir, well interference, flow and potential functions.

**Р**астущий спрос на энергоносители, заставляет нефтедобывающие предприятия сосредоточиться на максимизации добычи имеющихся в распоряжении активных запасов нефти. Применение вторичных методов позволяет извлечь из недр не более половины первоначальных гео-



логических нефтяных запасов. Это связано с неоднородной фазовой проницаемостью, приводящей к образованию застойных зон – ловушек нефти и слабому вытеснению нефти.

В нефтепромысловой науке разработаны композиционные составы из полимеров и полимерных гелей для воздействия на пласт полимерным заводнением, что изменяет подвижность воды в резервуаре за счет изменения вязкости воды [1]. В результате воздействия происходит целенаправленная коррекция проницаемости пород пласта. Полимеры адсорбируются на внутривыводной поверхности, гидравлический поровый радиус постепенно изменяется.

Процесс полимерного заводнения имеет ряд недостатков. Так, полимеры чувствительны к минеральному составу пластовой воды, пластовой температуре, деформационным изменениям пород. Есть также ограничения, связанные с проведением воздействия. Используются растворы, вязкость которых, как правило, больше вязкости нагнетаемой воды в несколько раз. Высокая вязкость полимерного раствора ограничивает скорость закачки при любом давлении нагнетания. Возникает опасность вынужденной остановки закачки и деградирования полимера. В пластах с температурным градиентом и при малых значениях вязкости закачиваемой жидкости эффективность вытеснения нефти снижается. Для успешного полимерного воздействия на пласт, как правило, задействованы более дорогостоящие мономеры или производственные процессы. Все это сильно ограничивает выбор жизнеспособных технологий.

Очевидно, что для улучшения добычи нефти, предпочтительно применение экономически более эффективного метода воздействия на пласты. Это может быть достигнуто путем использования маловязкой нефтерастворимой жидкости, которая в пласте переформируется в высоковязкую фазу, блокирующую движение пластовой воды. То есть, необходима такая система, в которой, в зависимости от концентрации входящих в состав элементов, используемых для уменьшения водопроницаемости пластовой среды, основная часть закачиваемого агента используется для создания длительного эффекта и впоследствии не возвращается с водой. Фактором, формирующим высокую вязкость, может служить пластовая температура, так как на участках с высокой проницаемостью по воде она несколько ниже, чем в других зонах пласта.

По результатам анализа литературы, опубликованной в этом направлении, было выявлено, что перечисленные выше свойства присущи термоактивным полимерам. К ним относится реагент, известный под торговой маркой «BrightWater» (далее BW), разработанной индустриальным консорциумом BP, ChevronTexaco и Nalco. Маркетингом разработки занимается компания TIORCO, входящая в состав компании Nalco [2, 3]. Технология предназначена для вытеснения нефти за счет расширения частиц рабочего агента, добавляемого в нагнетаемую в пласт воду. Впервые этот тип заводнения применен на месторождении Минас в ноябре 2001 г. [4].

Коротко о механизме действия технологии BW:

Рабочий агент, применяемый в BW, состоит из нефтерастворимого термоактивного полимера, который становится активным при заводнении пластов с неоднородным распределением температурного поля. Рабочий агент поступает в продуктивный пласт вместе с инвертированным ПАВ (дисперсант), смешанным в закачиваемой воде. Это генерирует незначительное увеличение вязкости раствора. Спустя время, после закачки водного раствора в пласт, частицы полимера под влиянием температуры расширяются, увеличивая первоначальный объем в 10 раз. В результате закачиваемая вода перенаправляется в неохваченные воздействием зоны. Если эти зоны богаты нефтью, увеличение охвата продуктивных скважин и изменение профиля движения воды в пласте ведет к получению дополнительной нефти и увеличению нефтедобычи. Для каждого диапазона пластовой температуры и минерализации пластовой воды, предназначена своя модификация BW.

Таким образом, применение технологии BW ограничивает движение потока воды в высокопроницаемых зонах, снижает добычу воды на обводненных участках, улучшает нефтевытеснение и повышает конечный коэффициент нефтедобычи. Технологический процесс легко реализовать, так как для закачки химических агентов используется стандартное оборудование и существующая система нагнетания. Использование раствора на водной основе не требует остановки скважин.

Технология вытеснения нефти полимерным заводнением BW была применена на опытном участке V блока морского месторождения «Нефт Дашлары» для скважин, работающих с X горизонта. Воздействие на пласт с помощью технологии BW проводилось в августе 2015 года. В настоящей работе изложен опыт и результаты, полученные при проведении этих мероприятий.

Предварительно, основываясь на накопленном опыте по выбору действенных методов воздействия на пласты с целью повышения нефтеотдачи, был проведен комплекс исследовательских и организационных работ по выбору подходящего опытного участка [5, 6]. Сопутствующее исследование пластов включало в себя оценку массива промысловых данных и данных о пласте, проведение лабораторных анализов и численного моделирования. Чтобы обеспечить положительные результаты, мероприятие проводилось в соответствии с разработанным планом.

Опытный участок выбирался на основе следующих данных:

1. На участках, соответствующих условиям внедрения по нагнетательной системе, проводились лабораторные исследования добываемых флюидов и адсорбционные свойства образцов пород.



Проводились лабораторно-экспериментальные работы по тестированию состава для нагнетания в пласт.

2. На основе промысловых данных осуществлялось симуляционное моделирование пластовых термо- и гидродинамических процессов каждого из участков-претендентов при использовании в качестве закачиваемого агента морской воды и композиционной смеси. Проводился предварительный сравнительный анализ перераспределения пластового давления и относительных фазовых проницаемостей по воде и нефти, по композиционной смеси и нефти.

3. Выполнимость технологии BW оценивалась на основе проверки соответствия производственных данных основным и вспомогательным критериям метода.

Принятие окончательного решения основывалось на учете характерных особенностей участка закачки, уточнения объема и концентрации закачиваемого раствора. План проведения воздействия отражен в разработанном технологическом регламенте TR 1669347-88-2014 [7]. После воздействия планировалось проведение мониторинга, необходимого для обновления модели, включающего в себя сбор и интерпретацию данных об изменении дебитов скважин, давления, фазовой проницаемости на исследуемом участке.

Были проведены эксперименты по изучению динамики изменения вязкости рабочего агента при различных концентрациях и температурах. Результаты показали, что условиям продуктивной толщи X горизонта V блока месторождения «Нефт Дашлары» соответствуют BW модификации ЕС9398А и дисперсант модификации ЕС 9660А.

Для определения объема закачки, на линейной модели были проведены лабораторные исследования по вытеснению остаточной нефти с помощью композиционной смеси, состоящей из рабочего агента, дисперсанта и морской воды. Результаты показали, что для пластовых условий исследуемого горизонта наиболее подходящей добавкой к закачиваемой воде является композиция в следующем соотношении: рабочий агент 0,5 %, дисперсант – 1/3 от его объема. Применение состава в лабораторных условиях позволило снизить проницаемость по воде почти в 2 раза.

Дадим краткую характеристику объекта, выбранного для воздействия.

X горизонт месторождения «Нефт Дашлары» разрабатывается с 1957 по настоящее время. На рисунке 1 представлена динамика показателей разработки данного объекта эксплуатации. На рисунке 2 представлена карта обводненности X горизонта месторождения «Нефт Дашлары». Красным квадратом на карте выделен участок, выбранный для проведения воздействия на пласт. По предварительным оценкам фильтрационного состояния рассмотренных участков пласта, он оказался наиболее перспективным.

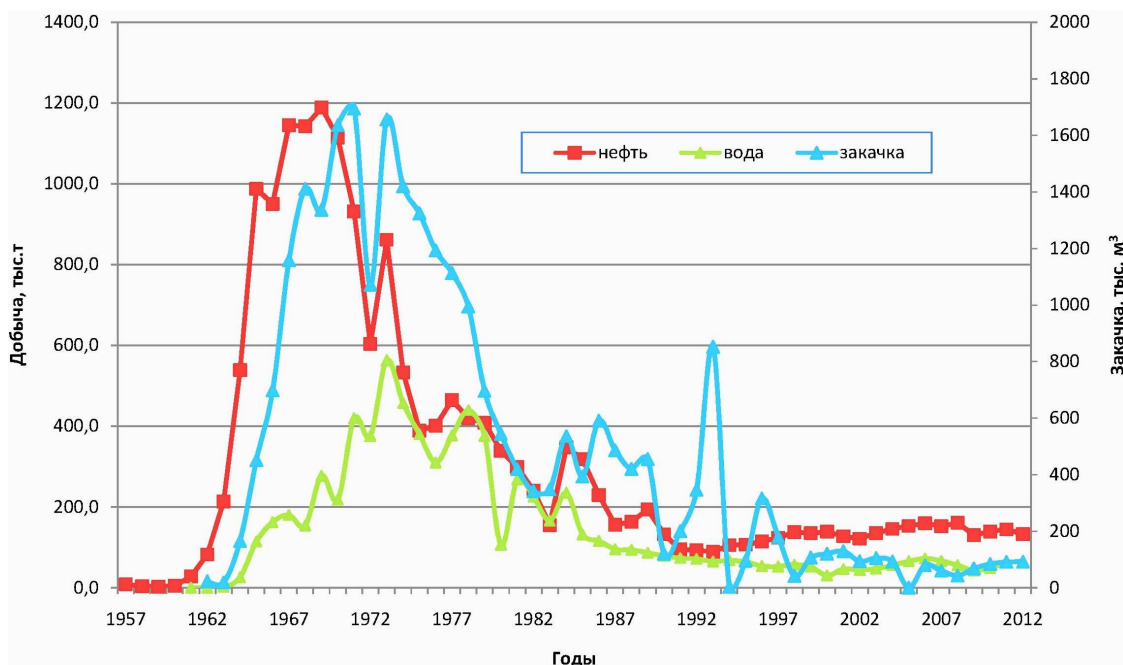


Рисунок 1 – История разработки месторождения «Нефт дашлары» (10 горизонт)

Для предварительной оценки текущего термодинамического и фильтрационного состояния пласта и взаимосвязей между его участками, использовались данные об изменении пластовой температуры с глубиной и показатели продуктивности скважин на выделенном участке в период июль-август 2015 года. Мониторинг процесса проводился с сентября 2015 по январь 2016 года.





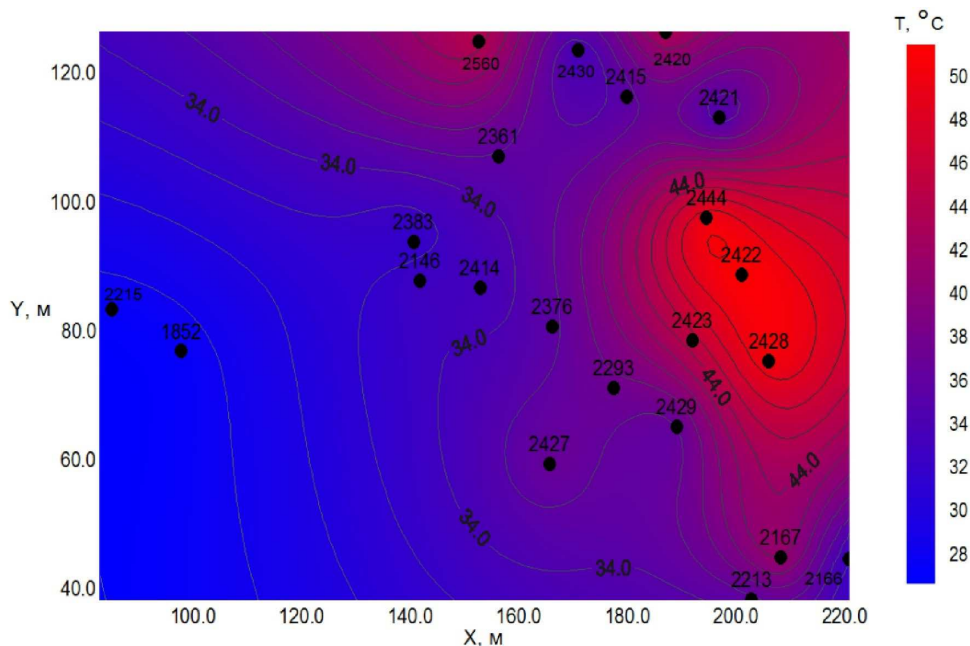


Рисунок 4 – Распределение температурного поля на выбранном для внедрения участке

Далее оценивалось перераспределение пластового давления на выделенном участке, происходящее за счет совместной работы добывающих и нагнетательной скважин. Расчеты, проведенные в соответствии с методикой, изложенной в [5], показали, что закачка композиционной смеси в пласт позволяет увеличить пластовое давление на опытном участке в среднем на 0,45 МПа, тогда как тот же объем воды, в среднем, поднимет давление на опытном участке пласта на 0,1 МПа.

Для оценки, в каких направлениях и насколько далеко гель способен проникнуть вглубь резервуара, в соответствии с методами, изложенными в [6, 8], проведены расчеты и визуализация распределения относительных фазовых проницаемостей (ОФП) по воде, нефти и закачиваемой композиции, функций тока, потенциалов, скорости фильтрации и их градиентов по простиранию пласта (рис. 5–11). Визуализация расчетных значений вышеперечисленных показателей на период до проведения воздействия пласт, показала:

- ОФП по воде на выделенном участке имеет низкие значения (рис. 5а). Именно по этой причине, процент воды в продукции скважин на участке невысокий. Проницаемость по нефти имеет высокие значения, что позволяет предположить на исследуемом участке наличие подвижных нефтяных запасов (рис. 5б). ОФП по композиционной смеси почти в 2 раза выше, чем по воде (рис. 6а). Поэтому ее применение позволит увеличить подвижность нефти на данном участке (рис. 6б). Таким образом, можно сделать вывод о том, что закачка композиционной смеси с BW в пласт на выбранном для воздействия участке более эффективна, чем нагнетание воды.

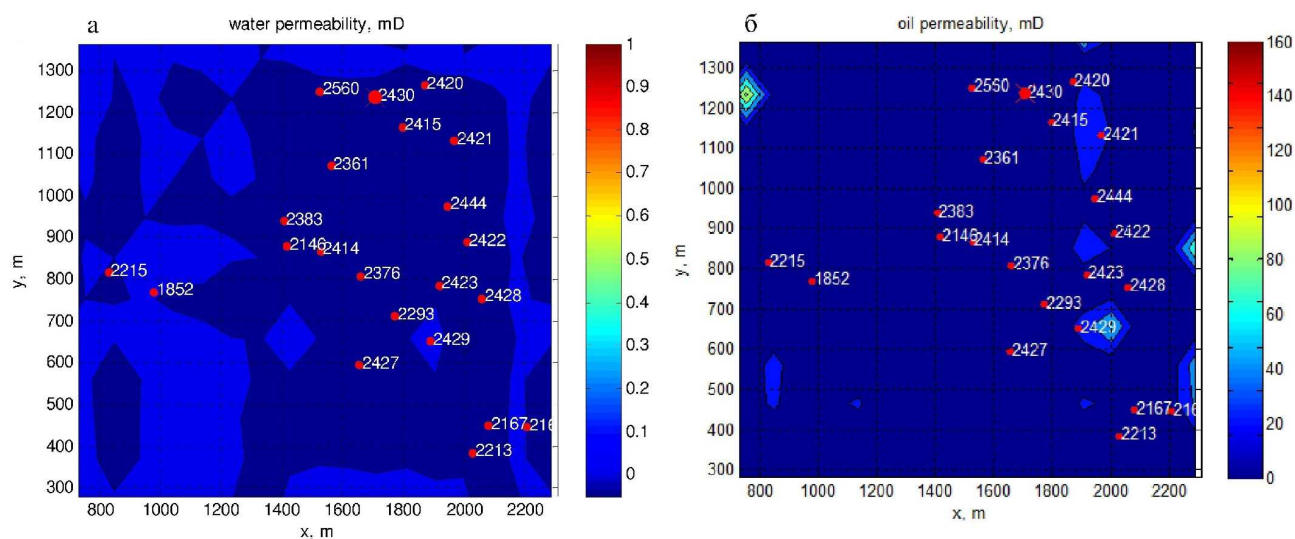
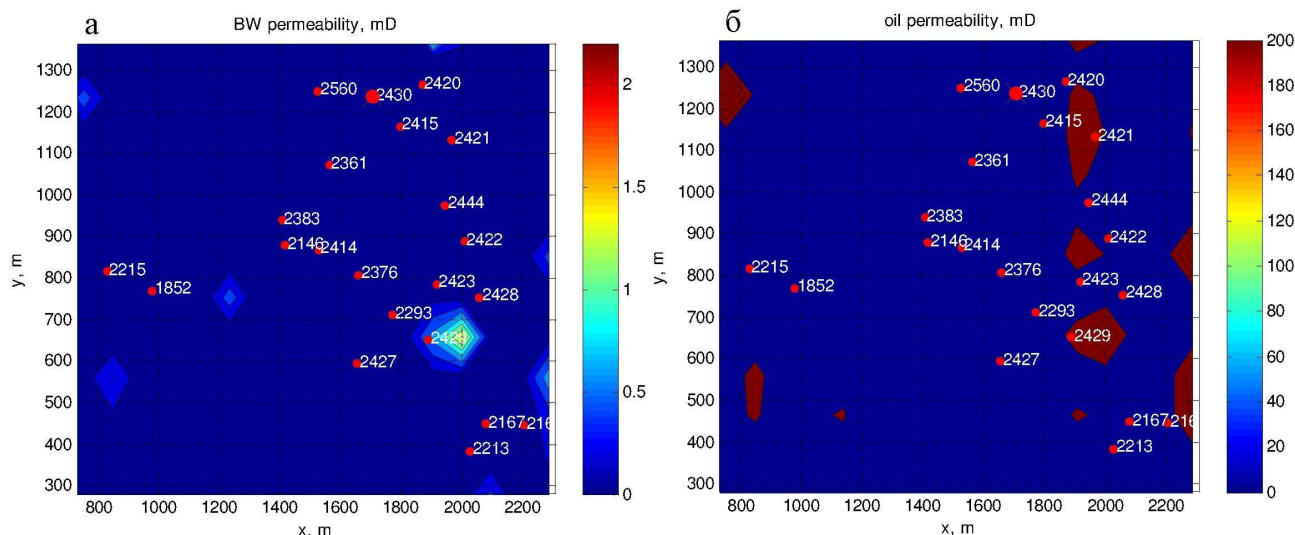
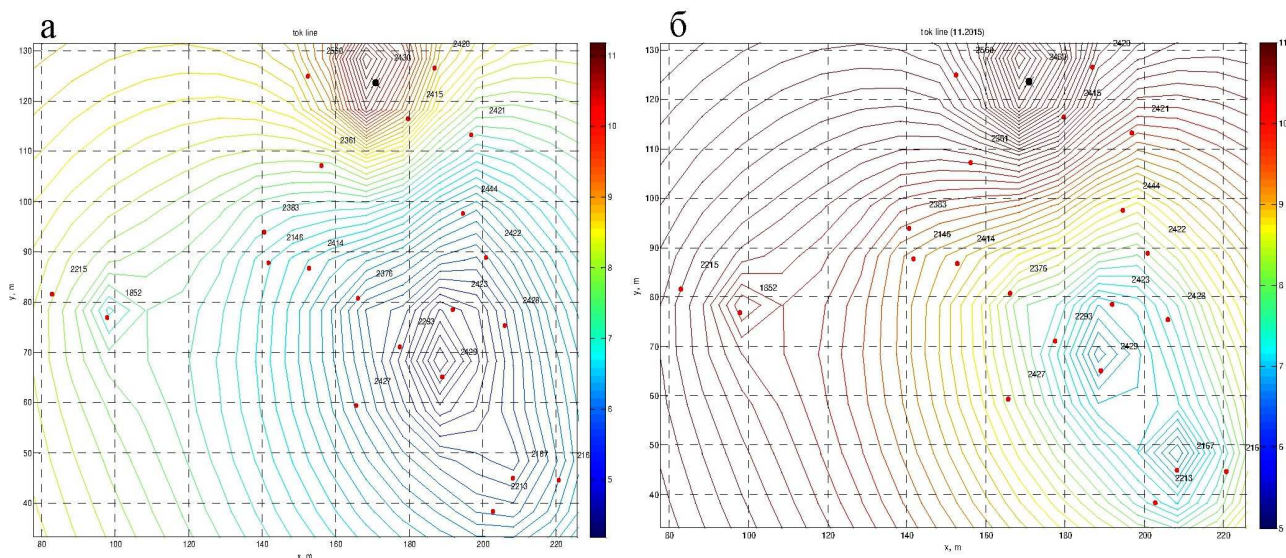


Рисунок 5 – Расчетное распределение фазовых проницаемостей на опытном участке при закачке воды: а – по воде, б – по нефти



**Рисунок 6** – Расчетное распределение фазовых проницаемостей на опытном участке при закачке композиционной смеси: а – по раствору; б – по нефти

• На выделенном участке есть активные и пассивные гидродинамические зоны (рис. 7). Среди них есть зоны, имеющие высокий потенциал нефтедобычи (рис. 8). Некоторые пассивные в гидродинамическом отношении зоны накладываются на зоны с высокой пластовой температурой. Если в этих зонах, закачиваемая в пласт жидкость имеет сравнительно низкую скорость фильтрации (рис. 9), то под действием температуры в этой зоне будет происходить более интенсивное набухание полимерных частиц. В результате, в высокопроницаемых зонах уменьшится проходимость закачиваемой жидкости, что вынудит ее перенаправиться в низкопроницаемые зоны (рис. 10). В зонах с высоким потенциалом нефтедобычи, изменение направления движения жидкости должно способствовать лучшему вытеснению нефти и увеличению дебита скважин. Процесс сопровождается перераспределением пластового давления в зонах репрессии скважин.



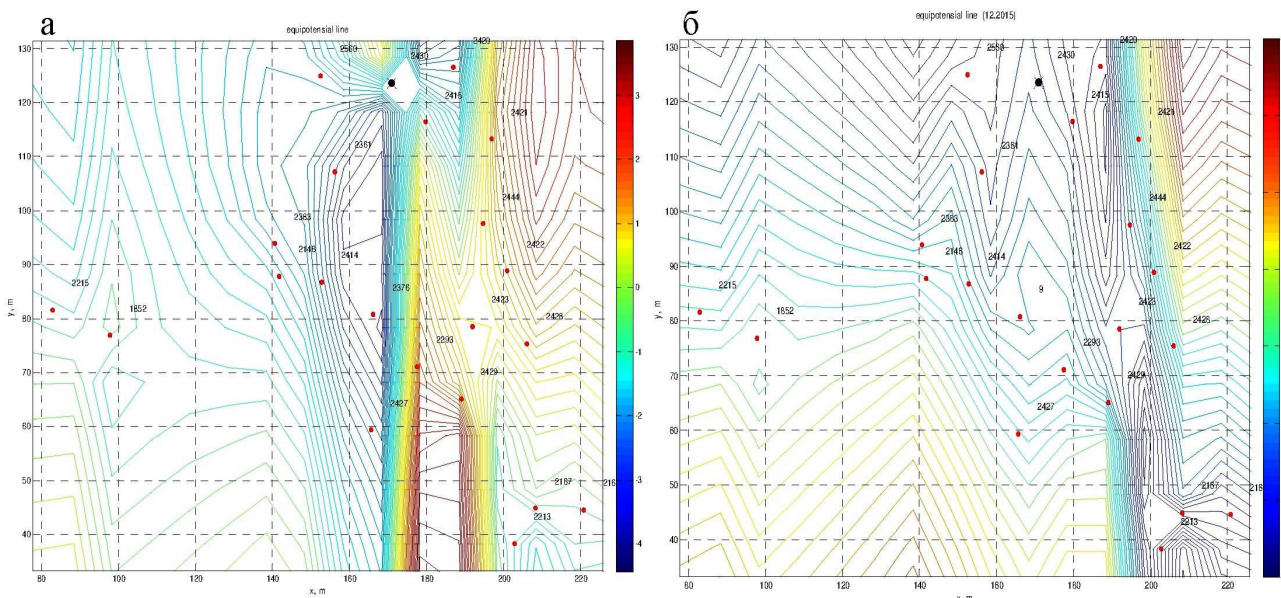
**Рисунок 7** – Распределение линий тока на выбранном для внедрения участке: а – до начала воздействия на пласт (август); б – после воздействия на пласт (ноябрь)

Воздействие было начато через единственную на данном участке нагнетательную скважину с использованием вспомогательной техники, в соответствии со схемой (рис. 12). В связи с выходом из строя центрального насоса, закачка жидкости в пласт была остановлена в середине октября 2015 года. Таким образом, воздействие на пласт с помощью технологии BW продолжалось меньше двух месяцев. Однако мониторинг динамики добычи на опытном участке в последующие месяцы показал, что

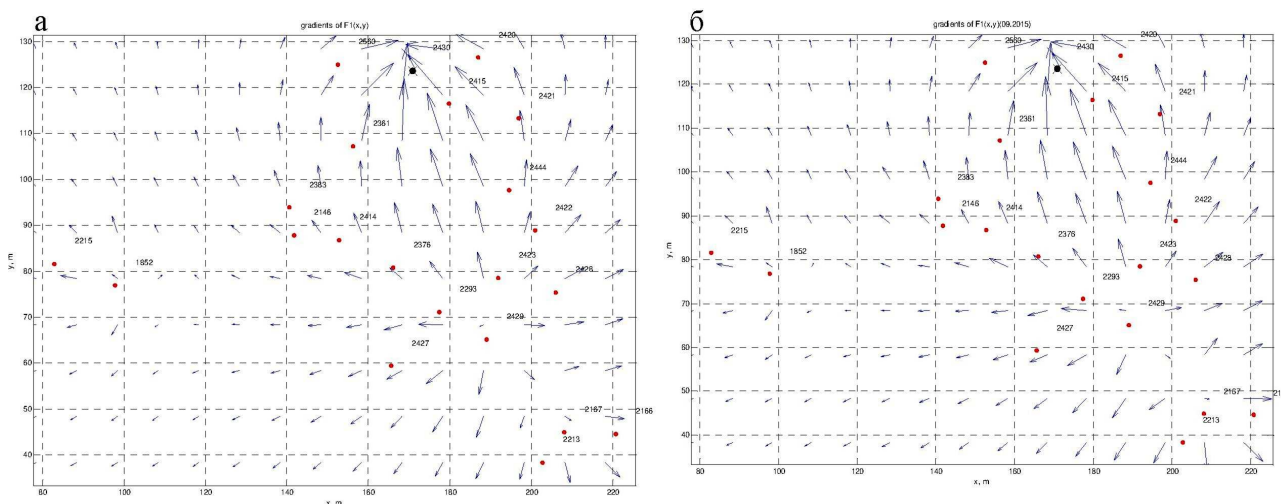




даже при таком малом периоде, воздействие на пласты с помощью технологии BW было успешным. Под воздействие попала 21 добывающая скважина, причем наиболее результативные показатели были получены не на близлежащих, а на скважинах, расположенных на значительном расстоянии от нагнетательной. Анализ полученных результатов показал точность проведенных прогнозных расчетов. Скважины, находящиеся в выгодном гидро- и термодинамическом положении улучшили свои показатели по нефти и воде. Как и предполагалось, содержание воды в продукции добывающих скважин изменилось незначительно. На выделенном участке суточный прирост нефти за рассматриваемый период составил 20 т.



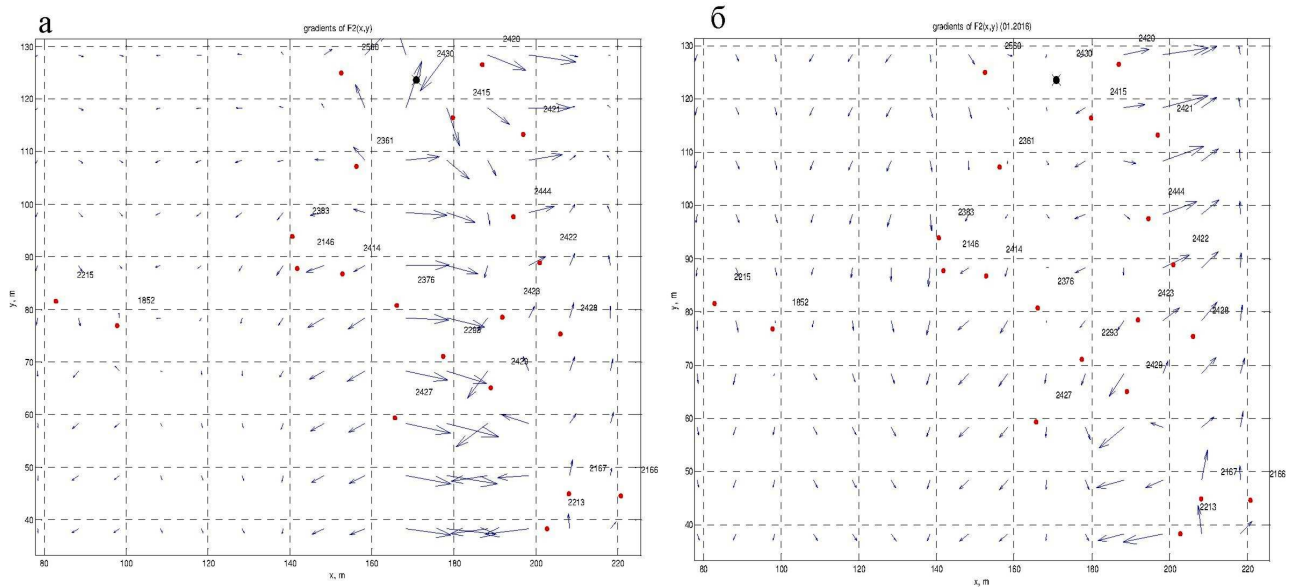
**Рисунок 8** – Распределение линий эквипотенциалей на выбранном для внедрения участке: а – до начала воздействия на пласт (август); б – после воздействия на пласт (декабрь)



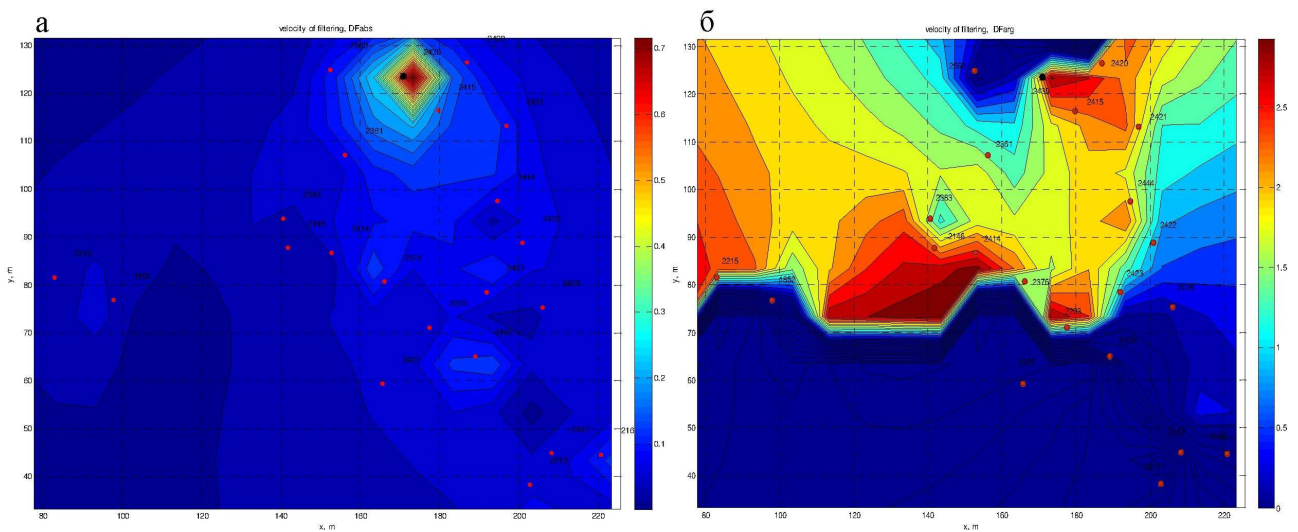
**Рисунок 9** – Распределение градиента функции тока на выбранном для внедрения участке: а – до начала воздействия на пласт (август); б – после воздействия на пласт (декабрь)

Начиная с апреля 2016 года, воздействие на пласт с помощью технологии BW на данном участке было продолжено.

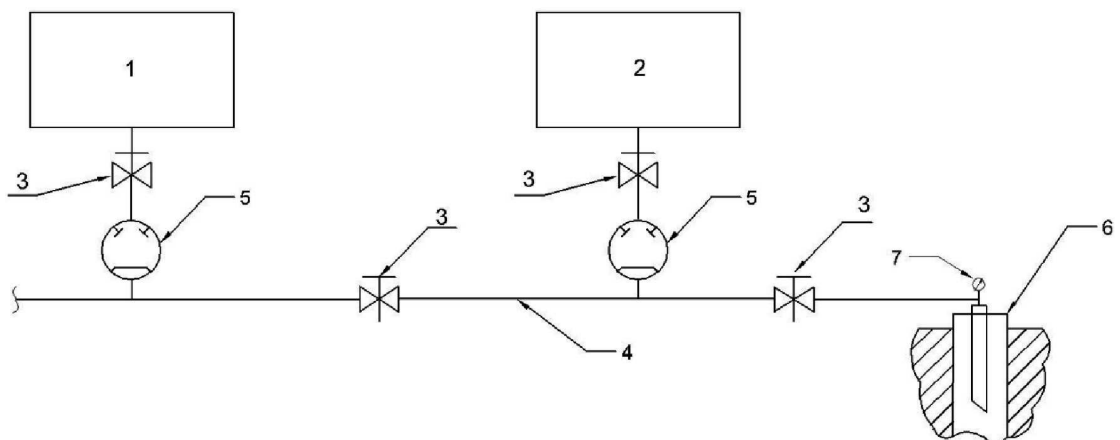
Таким образом, глубинная гелеобразующая система BW хорошо подходит для заводнения пластов с температурным градиентом. Предварительный анализ фильтрационных характеристик продвижения смеси в пласте позволяет управлять его профилем на соответствующей глубине пласта. Также есть возможность прогноза зон, в которых нет условий для распространения и реагирования агента.



**Рисунок 10** – Распределение градиента функции потенциалов на выбранном для внедрения участке:  
а – до начала воздействия на пласт (август); б – после воздействия на пласт (январь)



**Рисунок 11** – Поле скоростей фильтрации пластовой жидкости на выбранном для внедрения участке



**Рисунок 12** – Схема размещения техники на приустьевой площадке нагнетательной скважины, используемой для применения технологии BW:  
1 – емкость для хранения дисперсанта; 2 – емкость для хранения полимера BW; 3 – задвижки; 4 – водонагнетательная линия; 5 – дозаторный насос; 6 – нагнетательная скважина; 7 – манометр



**Литература:**

1. Арасланов И.М. Применение инвертных эмульсий и ПАВ для ОВП // Инженерная практика. – 2011. – № 7. – С. 75–76.
2. Pritchett J., Pacific C., Frampton H. et al. Field Application of a New In-Depth Waterflood Conformance Improvement Tool. SPE 84897.
3. Денней Д. Улучшение эффективности вытеснения при проведении заводнения месторождений Mature Koluel Kaike и Piedra Clavada // Журнал нефтяных технологий. – 2008. – Вып. 60.
4. Frampton H., Morgan J.C., Cheung S.K. et al. Development of a novel waterflood conformance control system SPE 89391.
5. Сулейманов Б.А., Исмаилов Ф.С., Гусейнова Н.И. Прогнозирование добычи нефти при вторичном и третичном воздействии на залежь с учетом интерференции скважин // Нефтепромысловое дело. – 2015. – № 2. – С. 20–23.
6. Гусейнова Н.И. О преимуществах зонального подхода при моделировании гидродинамических процессов в пластах нефтяных месторождений на поздней стадии разработки // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2017. – № 8. – С. 37–39.
7. Использование нового композиционного состава для повышения эффективности воздействия на пласт при закачке воды : ТР 1669347-90-2014. – НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, 2014.
8. Ентов В.М. Теория фильтрации // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 2. – С. 121–128.

**References:**

1. Araslanov I.M. Application of invert emulsions and surfactant for OVP//Engineering practice. – 2011. – No. 7. – P. 75–76.
2. Pritchett J., Pacific C., Frampton H. et al. Field Application of a New In-Depth Waterflood Conformance Improvement Tool. SPE 84897.
3. Denney D. Improvement of efficiency of replacement when carrying out flooding of Mature Koluel Kaike and Piedra Clavada fields // the Magazine of oil technologies. – 2008. – Vol. 60.
4. Frampton H., Morgan J.C., Cheung S.K. et al. Development of a novel waterflood conformance control system SPE 89391.
5. Suleymanov B.A., Ismaylov F.S., Guseynova N.I. Forecasting of oil production at secondary and tertiary impact on a deposit taking into account an interference of wells // Oil-field business. – 2015. – No. 2. – P. 20–23.
6. Guseynova N.I. About advantages of zone approach when modeling hydrodynamic processes in layers of oil fields at a late stage of development // Construction of oil and gas wells by land and by sea. – 2017. – No. 8. – P. 37–39.
7. Use of new composite structure for increase in efficiency of impact on layer when pumping water : TR 1669347-90-2014. – NIPI «Neftegaz», SOCAR, 2014.
8. Entov V.M. Theory of filtration // Sorosovsky educational magazine. – 1998. – No. 2. – P. 121–128.