



## ПРОМЫСЛОВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОЧАГОВОЙ КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «ЖЕТЫБАЙ» (КАЗАХСТАН)

Б.А.Судейманов<sup>1</sup>, Н.И.Гусейнова<sup>1</sup>, С.Д.Рзаева<sup>1</sup>, Г.Д.Тулешева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан; <sup>2</sup>ТОО НИИ «КазНИПИМунайгаз», Актау, Казахстан

### Experience of Acidizing Injection Wells for Enhanced Oil Recovery at the Zhetybai Field (Kazakhstan)

B.A.Suleimanov<sup>1</sup>, N.I.Guseinova<sup>1</sup>, S.C.Rzayeva<sup>1</sup>, G.D.Tulesheva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«OilGasScientificResearchProject» Institute, SOCAR, Baku, Azerbaijan;

<sup>2</sup>LLP «KazNIPIMunayGas», Aktau, Kazakhstan

#### Abstract

The article discusses the results of local acid treatment of key wells situated in the selected area of the deposit. This technique allows not only to recover well injection capacity, but also to increase the area sweep efficiency both according to the formation thickness and its strike, which helps to increase oil recovery. The method for effectiveness evaluation of the deposit stimulation technique has been proposed. It is based on calculation of formation system hydrodynamic characteristics with the account of well interference. Based on the geophysical well logging data (GWL), the area sweep efficiency is determined in accordance with the formation area and thickness. The proposed method has been implemented on the basis of the data of the Zhetybai (Kazakhstan) deposit.

#### Keywords:

Low-permeability reservoir;  
Oil recovery;  
Treatment;  
Acidizing;  
Surface efficiency;  
Spot formation stimulation.

© 2018 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

#### Введение

Месторождения нефти и газа, находящиеся на поздней стадии разработки, характеризуются усилением гидродинамической неоднородности продуктивных пластов. В результате отложения асфальто-смоло-парафиновых веществ, набухания глин, выпадения солей из пластовых и нагнетаемых вод, образования стойких эмульсий ухудшаются коллекторские свойства пород пласта, как по вертикали, так и по простиранию продуктивного пласта. В результате уменьшается продуктивность добывающих скважин и приемистость нагнетательных скважин.

Если участки с низкой проницаемостью плохо задействованы в процессе продвижения флюида, это приводит к неоднородному распределению жидкости в поровом пространстве пласта. На фронте продвижения воды образуются языки. Развитие процесса, в конечном итоге, приводит к прорыву закачиваемой в пласт воды через высокопроницаемые участки к добывающим скважинам. Чтобы снизить неоднородность проницаемости пород возникает необходимость применения эффективных методов воздействия, как на зону фильтра скважин, так и на пласт в целом.

В данной работе показано, что очаговую кислотную обработку нагнетательных скважин, расположенных на выбранном участке месторождения, можно проводить как с целью увеличения проницаемости дренируемой зоны скважин, так и целью воздействия на пласт. При этом большое значение имеет наличие методов оценки эффективности технологии воздействия, позволяющие обосновать необходимость своевременного внесения корректив в проводимый процесс.

#### 1. Кислотная обработка нагнетательных скважин на выделенном участке месторождения

Обработка дренажной зоны скважин соляной кислотой является наиболее распространенным методом интенсификации притока к добывающим скважинам и восстановления приемистости нагнетательных скважин [1]. На месторождении «Жетыбай» (Казахстан) [2] применение кислотной обработки нагнетательных скважин планировалось с целью очистки дренажной зоны и повышения приемистости. В течении определенного временного периода (7 месяцев) была проведена последовательная солянокислотная обработка 5 нагнетательных скважин, работающих на 8 горизонт. Такое очаговое воздействие было проведено впервые. Мероприятие проведено в

\*E-mail: Baghir.Suleymanov@socar.az  
<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20180100341>

Таблица 1

## Результаты применения кислотных обработок в нагнетательных скважинах

Нагнетательные скважины, №	Мощность пласта, м	Карбонатность, %	Закачка воды, м <sup>3</sup> /сут		Состав для химической обработки			Приемистость, т/сут		
			Годовая	Накопленная	ПАВ	Соляная кислота, т	Бактерицид, т	Начальная	До обработки	После обработки
942	41.6	5.9	22.6	509.6	0.1	4.48	0.2	13.1	121	160
1184	20.8	12.7	56.8	483.3	0.1	3.36	0.2	41.0	62	390
1246	20	0.8	21.7	119.8	0.1	3.36	0.2	175	97	190
1299	13	0	59.2	449.5	0.1	5.52	0.2	120	300	105
1410	10.3	0	15.9	113.1	0.1	4.4	0.2	100	132	16

2015 году. Отметим, что для оценки эффективности кислотных обработок на всех скважинах до и после проведения мероприятия были проведены геофизические исследования (ГИС). Была проведена комплексная интерпретация полученных данных [3, 4]. Профили приемистости скважин позволили определить, как изменилось распределение закачиваемой жидкости вдоль зоны фильтра скважины.

Для проведения воздействия использовались растворы следующего состава:

- соляная кислота (HCl) 24% концентрации;
- бактерицид – ингибитор коррозии;
- поверхностно-активное вещество (ПАВ);
- добавка в буферную и продавочную жидкости.

Объем закачиваемого кислотного состава рассчитывался для каждой скважины в зависимости от интервала перфорации по 0.5 м<sup>3</sup> раствора на 1 погонный метр фильтра нагнетательной скважины.

Был проведен анализ полученных результатов (табл.1). Как видно из таблицы 1 и анализа профилей приемистости, приемистость скважин №942, 1184 и 1246 увеличилась (рис.1а), а на скважинах №1299 и 1410 – уменьшилась (рис.1б). Увеличение приемистости трех скважин связано с наличием карбонатных пород в околоствольной зоне пласта. Так, в скважине №1184, где карбонатность пород составляет 12.7%, приемистость увеличилась более чем в 6 раз. В породах околоствольной зоны скважин № 1299 и 1410 карбонатных пород нет.

После проведенных мероприятий показатели работы добывающих скважин (19 скважин) на рассматриваемом участке месторождения изменились (табл.2). Наблюдалось увеличение добычи нефти большинства скважин на участке. Исключение составили скважина №1345, в которой добыча уменьшилась, и скважины №1300, 1311 и 452, в которых добыча не изменилась. В продукции некоторых скважин уменьшилось количество добываемой воды.

Если рассматривать проведенную кислотную обработку нагнетательных скважин как процесс очагового воздействия на пласт, можно предположить, что в результате интерференции скважин происходит перераспределение фильтра-

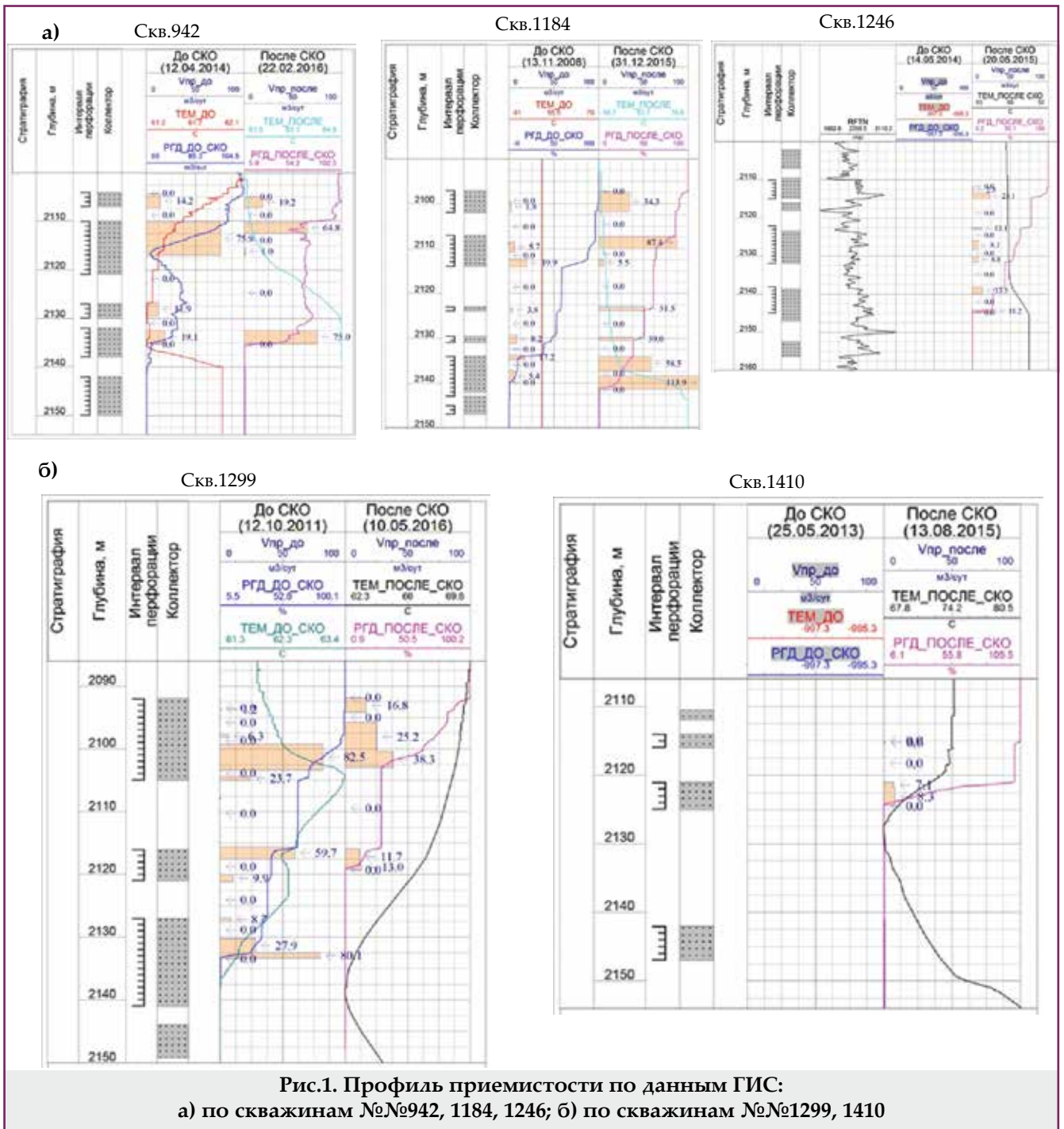
ционного поля в межскважинном пространстве пласта. Следовательно, предложенную технологию можно использовать не только для улучшения приемистости нагнетательных скважин, но и для повышения нефтеотдачи пласта.

Чтобы оценить полученный результат, был проведен анализ изменения распределения фильтрационного поля на выделенном участке месторождения. Трехмерное распределение фильтрационного поля пласта отражает изменение фильтрации пластовой жидкости по простиранию и по толщине пласта. Для его построения необходимы данные об изменении профилей приемистости нагнетательных скважин и профилей отбора всех добывающих скважин до и после проведения мероприятия. В связи с отсутствием данных по некоторым скважинам, построение фильтрационного поля на выделенном участке проведено с использованием данных, усредненных по глубине. Сравнительный анализ расчетных гидродинамических характеристик до и после проведения мероприятия позволил выявить происходящие изменения на исследуемом участке в условиях интерференции скважин.

## 2. Расчет и анализ гидродинамических характеристик пластовой системы на участке проведения кислотного воздействия

Расчет проводился по текущей информации об объеме закачиваемой и добываемой жидкости на выделенном участке месторождения. Фиксировались значения суточного дебита нефти и воды добывающих скважин и объем закачки в пласт до и после кислотной обработки нагнетательных скважин.

Для построения распределения фильтрационного поля использовались методы теории функций комплексных переменных. Расчет проводился с учетом совместной работы подверженных кислотной обработке нагнетательных (сток) и реагирующих на их воздействие добывающих скважин (источник). Алгоритм расчета этих функций для одного источника и стока на плоскости описан в [5]. Нами рассмотрена задача учета совместной работы скважин, представлен-



**Рис.1. Профиль приемистости по данным ГИС:**  
 а) по скважинам №№942, 1184, 1246; б) по скважинам №№1299, 1410

ных как множество одновременно действующих источников и стоков.

Фильтрационное поле пласта характеризуется семейством линий эквипотенциалей  $F_1$  и линий тока  $F_2$ . Эквипотенциалы - концентрические окружности вокруг каждой скважины, характеризуют потенциал потока пластового флюида. Линии тока - радиальные прямые с постоянным для данной скважины угловым коэффициентом, их направление всегда совпадают с направлением течения. Расход пластового флюида между двумя линиями тока равен разности значений функции тока на этих линиях. Линии тока и линии эквипотенциалей взаимно перпендикулярны. Характеристическая функция течения, или комплексный потенциал  $F = F_1 + i \cdot F_2$  описывает приток жидкости к скважине. Модуль скорости

фильтрации в данной точке пласта определяется первой производной характеристической функции течения. Направление движения флюидов в пласте определяется расчетом градиентов функций тока, потенциала и скорости фильтрации в каждой ячейке сетки, наложенной на пласт.

Визуализация функций потенциалов и их градиентов выполнена в виде карты распределения линий тока и эквипотенциалей на участке, как по нефти, так и по воде (рис.2-5). Интерпретация результатов производится в соответствии со специально разработанной методикой [6]. Цветовая шкала позволяет визуально оценить результаты проведенных расчетов.

Сравнительный анализ карт распределения линий тока по нефти показал, что после очагового кислотного воздействия общее фильтрационное

Таблица 2

## Показатели работы реагирующих скважин до и после применения кислотных обработок

Нагнетательные-скважины, №	Реагирующие скважины, №	Эффективная мощность фильтра, м	Добыча до обработки, т/сут			Добыча после обработки, т/сут		
			нефть	вода	жидкость	нефть	вода	жидкость
942	1345	14.0	2.7	13.1	15.8	1.8	8.6	10.4
	1346	7.0	0.6	4.2	0.8	0.7	4.5	0.8
	1355	10.5	0.7	15.0	16.6	1.3	15.3	16.7
1184	1194	6.0	6.2	0.9	7.1	6.3	0.9	7.2
	1309	26.0	5.7	13.3	19.0	7.3	17.1	24.4
	1318	12.0	8.9	4.7	13.6	15.9	8.6	24.4
	1310	24.0	9.6	4.1	13.7	11.0	4.7	15.8
1246	1244	8.0	3.9	11.1	15.1	5.2	8.9	14.1
	1238	6.0	4.8	4.3	9.1	5.1	2.5	7.6
	918	24.0	4.4	6.8	9.5	7.5	4.2	13.6
1299	1300	10.0	0.1	0.7	0.8	0.1	0.7	0.8
	1311	30.0	16.1	2.2	18.5	16.1	2.2	18.6
	1310	24.0	5.5	3.0	8.4	7.8	4.2	12.0
	1309	26.0	4.3	8.9	25.0	6.2	17.4	24.0
1410	452	14.5	0.1	0.7	0.8	0.1	0.7	0.9
	4237	14.5	5.3	4.0	9.3	6.7	4.6	11.4
	922	24.5	0.5	1.9	2.3	0.8	3.0	3.8
	4234	8.0	1.5	9.3	10.9	2.6	15.8	18.5
	1403	15.0	13.8	1.9	15.7	17.4	2.4	19.7

состояние в пласте на рассматриваемом участке активизировалось. В результате, фильтрационные характеристики пласта вокруг нагнетательных скважин изменились, образовав 5 активных зон, взаимодействующих между собой. Обозначим зоны вокруг нагнетательных скважин № 1246, 1299, 1184, 942, 1410 соответственно 1, 2, 3, 4, 5. Как видно из рисунков 2а и 2б, зоны 2-5 из пассивных перешли в зоны промежуточной (скв.1184) и активной фильтрации (скв.942, 1299, 1410). Пассивная до воздействия зона 1 после воздействия изменилась в зону активной фильтрации. Анализ линий эквипотенциалей, показал, что увеличение добычи нефти ожидается в зоне 4 (рис.3а и 3б).

Анализ карт распределения линий тока по воде показал, что локальная активизация фильтрационного состояния вокруг нагнетательных скважин привела к тому, что в продукции добывающих скважин увеличился объем воды (рис.4а и 4б). Если бы при планировании кислотной обработки нагнетательных скважин был проведен предварительный анализ гидродинамического состояния участка, то уже до воздействия выявилась бы необходимость в проведении соответствующих работ по селективной изоляции водопритока. Анализ распределения линий эквипотенциалей, показал, что после кислотной обработки, в продукции добывающих скважин зон 1, 2, 4 в перспективе ожидается снижение объема воды (рис.5а и 5б).

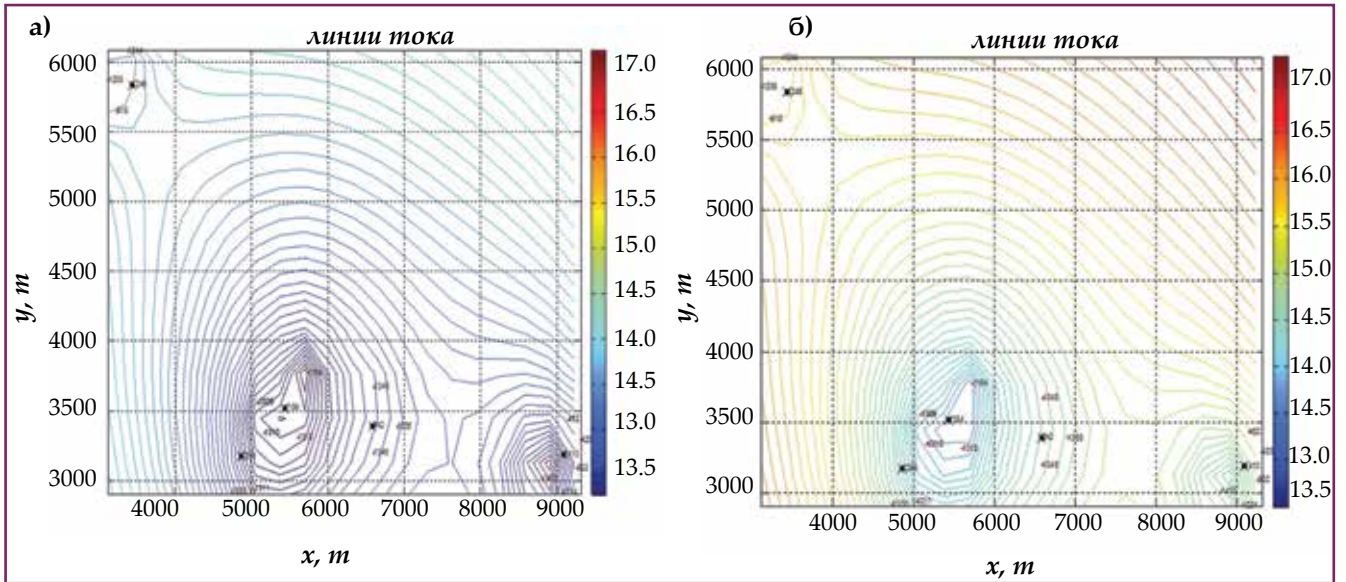
### 3. Охват участка вытеснением

Одним из основных показателей эффективности систем разработки нефтяных месторождений является коэффициент охвата воздействием. Коэффициент показывает полноту возможной

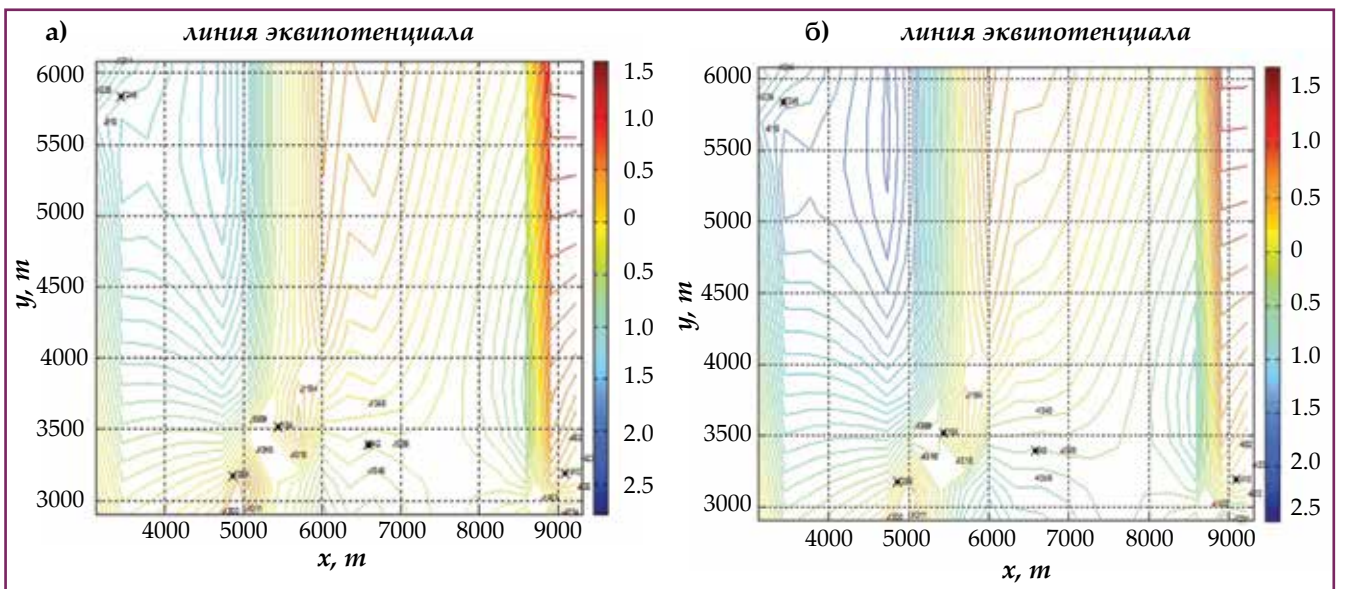
выработки запасов для принятой системы разработки. По значению коэффициента можно оценить эффективность воздействия на продуктивный пласт и выбрать лучший вариант системы разработки. Если коэффициент охвата воздействием рассчитывается на конкретную дату, то он называется текущим (фактическим) коэффициентом воздействия.

Коэффициент охвата воздействием определяется как отношение нефтенасыщенного объема продуктивного пласта, охваченного процессом вытеснения, ко всему нефтенасыщенному объему этого пласта в выбранном условном расчетном контуре. В зависимости от применяемой системы разработки и изменчивости геолого-геофизических свойств в объеме пласта он может существенно меняться.

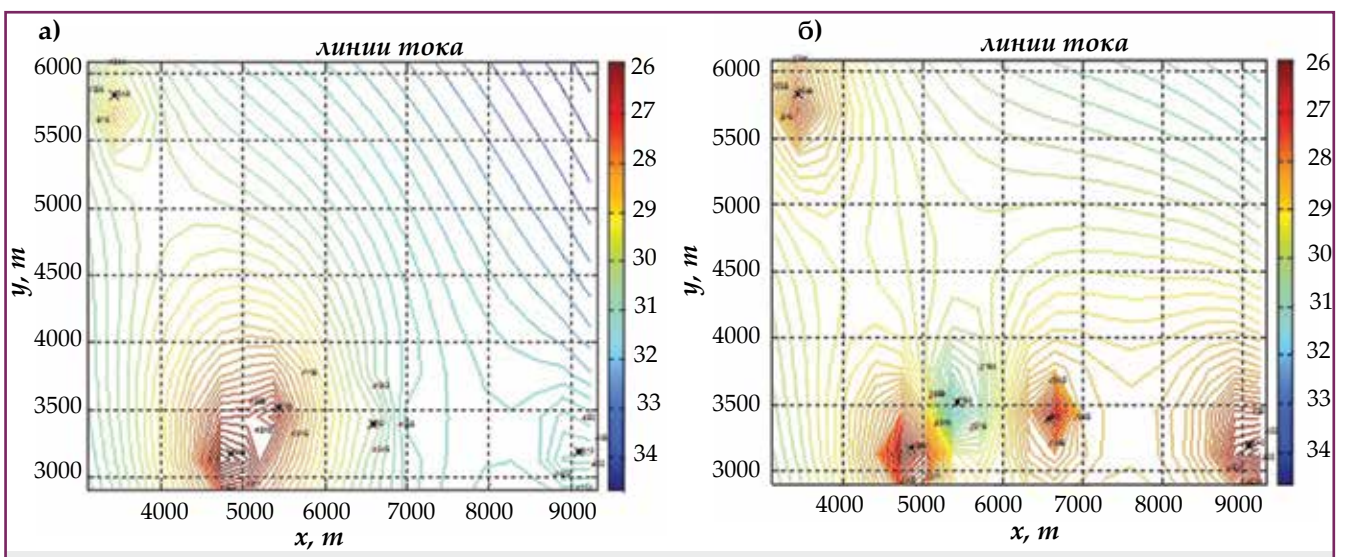
Нами была проведена визуализация охвата участка воздействием, с использованием гидродинамических параметров рассматриваемого участка. В основу расчета текущего коэффициента охвата воздействием положен параметр, который является результатом гидродинамического моделирования и может быть рассчитан для каждой ячейки модели. Так как, визуализация линий тока позволяет проследить путь продвижения жидкости в пласте от нагнетательных скважин до добывающих, то, расчет значений функции тока для каждой ячейки сетки, наложенной на исследуемый участок позволяет классифицировать ячейки сетки на дренируемые и недренируемые. В соответствии с распределением значений функции тока по участку строится карта текущего фронта пластовой жидкости (рис.6). Площадь дренируемых ячеек составит зону охваченную воздействием. Зону, неохваченную воздействием составляют



**Рис.2. Карта распределения линий тока по нефти:**  
 а) до кислотного воздействия; б) после кислотного воздействия



**Рис.3. Карта распределения линий эквипотенциалей по нефти:**  
 а) до кислотного воздействия; б) после кислотного воздействия



**Рис.4. Карта распределения линий тока по воде:**  
 а) до кислотного воздействия; б) после кислотного воздействия

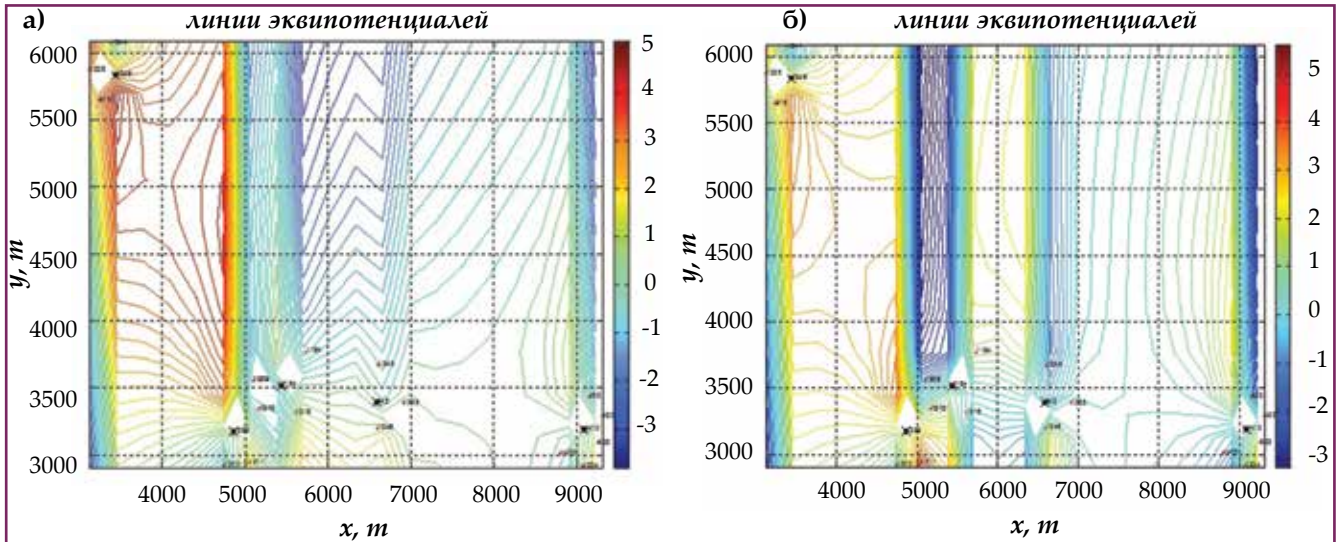


Рис.5. Карта распределения линий эквипотенциалей по воде:  
а) до кислотного воздействия; б) после кислотного воздействия

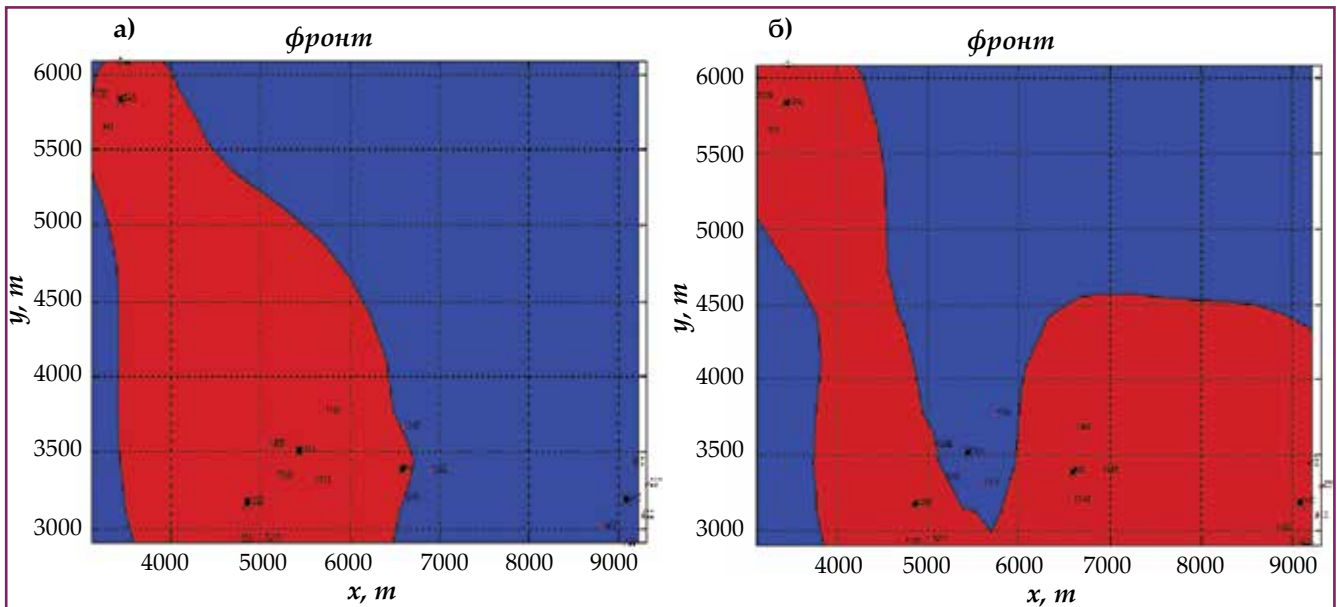


Рис.6. Карта текущего фронта воды:  
а) до кислотного воздействия; б) после кислотного воздействия

слабодренлируемые ячейки. Такой подход позволяет решить задачу визуализации зон участка, охваченных воздействием. На рисунке 6 ячейки с высокой дренлируемостью отмечены красным цветом, а синим - выделены слабодренлируемые ячейки. В результате расчетов получено, что до проведения очаговой кислотной обработки нагнетательных скважин охват участка воздействием составлял 35% (рис.6а), после проведения мероприятия охват участка воздействием увеличился и составил более 45% (рис.6б). Следовательно, до

проведения кислотного воздействия коэффициент охвата площади воздействием был равен 0.37, а после воздействия он составил 0.46.

Таким образом, проведенные исследования выявили целесообразность очаговой кислотной обработки нагнетательных скважин на участке. При таком воздействии, за счет интерференции скважин, происходит активизация фильтрационных процессов в целом по участку месторождения, увеличивается коэффициент охвата площади воздействием.

### Выводы

1. Предложен метод оценки эффективности воздействия на залежь, позволяющий оценить коэффициент охвата воздействием с учетом интерференции скважин и результатов ГИС.

2. Метод был апробирован для оценки эффективности воздействия на пласт при проведении очаговой кислотной обработки пяти нагнетательных скважин на выбранном участке месторождения «Жетыбай» (Казахстан). Получено, что в результате воздействия приемистость скважин с наличием карбонатных пород в дренлируемой зоне пласта увеличилась более чем в 6 раз, а коэффициент охвата площади воздействием от значения 0.37 (до воздействия), возрос до значения 0.46 (после воздействия).

**Литература**

1. В.Н.Глуценко, М.А.Силин. Нефтепромысловая химия. Т. 4. Кислотная обработка скважин. /под ред. проф. И.Т.Мищенко. М.: Интерконтакт Наука, 2010.
2. О.А.Абдукамалов, Л.Н.Серебрякова, А.Р.Тастемиров. Опыт применения технологии воздействия ударно-волновой обработки на призабойную зону нагнетательных скважин на месторождениях западного Казахстана // SOCAR Proceedings. –2017. –№1. –С.62-69
3. М.М.Искендеров. Комплексная интерпретация результатов ГИС при изучении терригенных разрезов //SOCAR Proceedings. –2014. –№3. –С.4-10.
4. М.М.Искендеров. Некоторые результаты моделирования удельного электрического сопротивления (на примере месторождений Южно-Апшеронской экваториальной зоны и северной части Бакинского архипелага) //SOCAR Proceedings». –2017. –№2. –С.4-12.
5. К.С.Басниев, А.М.Власов, И.Н.Кочина и др. Подземная гидравлика. М: Недра,1986.
6. Н.И.Гусейнова. Гидродинамический экспресс-мониторинг зонального воздействия на продуктивные пласты нефтяных месторождений с учетом интерференции скважин //Нефтегазовое дело. –2017. –Т.15. –№ 3. –С.41-46.

**References**

1. V.N.Gluschenko, M.A.Silin. Oil field chemistry. Vol. 4. Acid treatment of wells /ed. prof. I.T.Mishchenko. M.: Interkontakt Nauka, 2010.
2. O.A.Abdukamalov, L.N.Serebryakova, A.R.Tastemirov. Experience of shock action for bottomhole zone treatment of injection wells in the fields of Western Kazakhstan //SOCAR Proceedings. –2017. –No.1. –P.62-69.
3. M.M.Isgandarov. Integrated interpretation of well logging results in the study of terrigenous sections // SOCAR Proceedings. – 2014. – No. 3. – P.4-10.
4. M.M.Isgandarov. Some results of modeling electrical resistivity (on the example of deposits of the South-Absheron Aquatorium Zone and the northern part of the Baku Archipelago) //SOCAR Proceedings». –2017. –No. 2. –P.4-12.
5. K.S.Basniev, A.M.Vlasov, I.N.Kotshina, et al. Underground hydraulic. M.: Nedra, 1986.
6. N.I.Huseynova. Hydrodynamic express monitoring of zonal impact on productive reservoirs of oil fields taking into account well interference //The electronic scientific journal «Oil and Gas Business». –2017. –Vol.15. –No.3. –P.41-46.

**Промысловая реализация технологии очаговой кислотной обработки нагнетательных скважин на месторождении «Жетыбай» (Казахстан)**

**Б.А.Сулейманов<sup>1</sup>, Н.И.Гусейнова<sup>1</sup>, С.Д.Рзаева<sup>1</sup>, Г.Д.Тулешева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан;

<sup>2</sup>ТОО «КазНИПИМунайгаз», Актау, Казахстан

**Реферат**

В работе рассмотрены результаты очаговой кислотной обработки нагнетательных скважин, расположенных на выбранном участке месторождения. Данная технология позволяет не только восстановить приемистость скважин, но и увеличить коэффициент охвата площади воздействием, как по мощности пласта, так и по его простиранию, что способствует увеличению нефтеотдачи. Предложен метод оценки эффективности технологии воздействия на залежь, основанный на расчете гидродинамических характеристик пластовой системы с учетом интерференции скважин. На основе данных геофизического исследования скважин (ГИС) на рассматриваемом участке определяется коэффициент охвата участка воздействием по площади и мощности пласта. Реализация предложенного метода проведена на примере данных месторождения «Жетыбай» (Казахстан).

**Ключевые слова:** низкопроницаемый коллектор; нефтеотдача; воздействие на пласт; кислотная обработка; коэффициент охвата воздействием; очаговое воздействие.

**«Jetıbay» yatağında (Qazaxıstan) müəyyən olunmuş müddət ərzində laya turşu ilə ocaqlı təsir texnologiyasının mədən tətbiqi**

**B.Ə.Süleymanov<sup>1</sup>, N.İ.Hüseynova<sup>1</sup>, S.C.Rzayeva<sup>1</sup>, Q.D.Tuleşova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>«Neftqazəlmütədqıqatlayihə» İnstitutu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan;

<sup>2</sup>MMC «QazNİPİmunayqaz», Aktau, Qazaxstan

**Xülasə**

Məqalədə yatağın seçilmiş sahəsində yerləşən vurucu quyuların müəyyən müddət ərzində turşu ilə işlənmə nəticələrinə baxılmışdır. Tətbiq olunan texnologiya quyularda qəbuletmə qabiliyyətini bərpa etməklə, sahə üzrə əhatə olunma əmsalını layın qalınlığı və yatımına görə artırır ki, bu da neftveriminin artımına səbəb olur. Quyuların interferensiyası nəzərə alınmaqla lay sisteminin hidrodinamiki xarakteristikasına əsaslanan yatağa təsir texnologiyasının səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi metodu təklif edilmişdir. Quyuların geofiziki tədqiqatları (GFT) əsasında baxılan sahədə layın sahə və qalınlıqları üzrə əhatə əmsalı təyin edilir. Təklif olunan metodun tətbiqi «Jetıbay» (Qazaxstan) yatağının istismar göstəricilərinə əsasən aparılmışdır.

**Açar sözlər:** aşağı keçiricikli kollektor; neft verimi; laya təsir; turşu ilə işlənmə; layın təsirlə əhatə əmsalı; ocaqlı təsir.