



УДК 622.276.43

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СТИМУЛЯЦИИ ПЛАСТА И НЕСТАЦИОНАРНОГО ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ НА ВИНГАПУРОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

### THE EFFECTIVENESS OF CHEMICAL METHODS OF FORMATION STIMULATION AND NON-STATIONARY CYCLIC WATERFLOODING ON THE VYNGAPUROVSKOYE FIELD

**Савенок Ольга Вадимовна**

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры нефтегазового дела  
имени профессора Г.Т. Вартумяна,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
olgasavenok@mail.ru

**Поварова Лариса Валерьевна**

кандидат химических наук, доцент,  
доцент кафедры химии,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
larispv08@gmail.com

**Гаскаров Никита Радикович**

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
ngaskarov20122@yandex.ru

**Аннотация.** Статья посвящена изучению и анализу методов повышения продуктивности скважины, результатам изучения эффективности обработок призабойной зоны, в том числе кислотами для повышения нефтеотдачи.

**Ключевые слова:** пластовое давление, призабойная зона, проницаемость коллектора, приемистость, геолого-технические мероприятия.

**Savenok Olga Vadimovna**

Doctor of Technical Sciences,  
Associate professor,  
Professor of oil and gas engineering department  
named after professor G.T. Vartumyan,  
Kuban state technological university  
olgasavenok@mail.ru

**Povarova Larisa Valeryevna**

Candidate of Chemical Sciences,  
Associate professor,  
Associate Professor of Chemistry Department,  
Kuban state technological university  
larispv08@gmail.com

**Gaskarov Nikita Radikovich**

Student,  
Kuban state technological university  
ngaskarov20122@yandex.ru

**Annotation.** The article is devoted to the study and analysis of methods for increasing the productivity of wells, the results of the study of the effectiveness of bottom-hole zone treatment and treatment with acids to increase oil recovery.

**Keywords:** reservoir pressure, bottom-hole zone, reservoir permeability, pick-up, geological and technical measures.

## **А**нализ эффективности обработок призабойной зоны пласта

С целью повышения продуктивности скважин на месторождении проводятся работы по обработкам призабойных зон пласта (ОПЗ) растворами различных кислот и комбинированными составами (ГКО, СКО, ПАВ).

Химические методы стимуляции пласта не получили должного применения и используются недостаточно, хотя имеется достаточный потенциал их реализации, особенно на скважинах с невысокой обводненностью продукции, где проведение других методов ограничено.

С начала разработки месторождения по состоянию на 01.01.2017 г. проведено 913 обработок призабойной зоны пласта на добывающем и нагнетательном фонде скважин, дополнительная добыча от которых составляет 816,8 тыс. тонн нефти. Основная доля мероприятий приходится на основной по запасам и площади развития низкопроницаемый объект БВ<sub>8</sub><sup>1</sup>.

За анализируемый период 2013–2017 гг. кислотными методами проведено 219 мероприятий, дополнительная добыча нефти составляет 42,4 тыс. тонн, с учётом переходящего эффекта – 146,2 тыс. тонн. Средний прирост дебитов по нефти 2,0 тонн/сут., за счёт увеличения приёмистости дополнительно закачано воды 186,2 тыс. м<sup>3</sup>, средняя продолжительность действия эффекта на одно ГТМ равна 104 сут., средний коэффициент успешности 69,9 %.



Имеют место малоэффективные обработки. Так, в апреле проведена СКО на объекте ЮВ<sub>1</sub> (восточная залежь) с дополнительной добычей нефти 9,0 тонн, с приростом дебита 0,04 тонн/сут. и продолжительностью эффекта 242 дня. Из двух скважин с проведённой СКО на объекте БВ8 одна неэффективна (скважина № 4299), на скважине № 44510 после обработки дебит нефти достиг 20,1 тонн/сут. против 6,8 тонн/сут. до ОПЗ, обводнённость снизилась до 17,1 % против 46,8 % до обработки. На скважине № 210Г (пласт ПК21) проведена ГКО с дополнительной добычей 85,8 тонн и приростом дебита 1,0 тонн/сут.

В 2017 году выполнено 69 обработок с дополнительной добычей 23,0 тыс. тонн нефти, с приростом дебита 2,6 тонн/сут. и продолжительностью эффекта 119 сут. с коэффициентом успешности 73,9 %.

Динамика обработок по годам и их эффективность приведена в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Динамика ОПЗ кислотными растворами за 2013–2017 гг.

Год	Число ГТМ	Дополнительная добыча нефти, тыс. тонн	Прирост дебита нефти, тыс. тонн	Дополнительная закачка воды, тыс. тонн	Продолжительность эффекта, сут.	Продолжительность эффекта на 1 ГТМ, сут.	Коэффициент успешности, %
2013	13	1,1	0,7	0,0	1723	133	76,9
2014	27	6,7	2,2	4,2	3083	114	77,7
2015	59	6,3	1,0	14,0	6082	103	71,2
2016	51	5,3	1,3	11,8	3666	72	56,9
2017	69	23,0	2,6	156,2	8217	119	73,9
Всего	219	42,3	1,8	186,2	22771	104	69,9

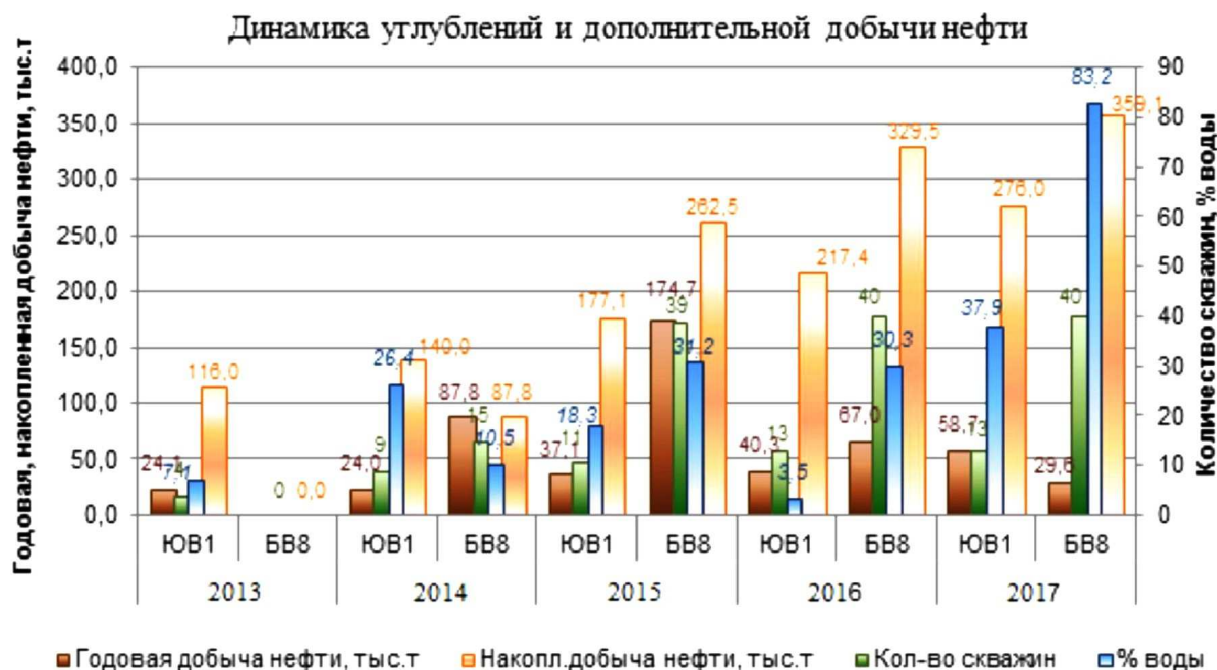


Рисунок 1 – Динамика обработок и дополнительной добычи нефти от ОПЗ

Реализация ОПЗ и объёмы дополнительно добытой нефти от этого вида ГТМ за период 2013–2017 гг. в разрезе эксплуатационных объектов представлена в таблице 2 и на рисунках 2 и 3.

В общей доле за 2013–2017 гг. данный метод обработок составляет 6,3 % от общего количества проведённых ГТМ на месторождении и 1,1 % от всего объёма дополнительной добычи месторождения. Значительный потенциал от применения данного вида ГТМ на Вынгапуровском месторождении имеется, прежде всего, на нефтедобывающем фонде скважин, и с каждым годом количество скважин, требующих снятия загрязнённости призабойной зоны пласта и положительного скин-фактора, будет только увеличиваться.



Таблица 2 – Реализация ОПЗ по эксплуатационным объектам за период 2013–2017 гг.

Объект	Количество ГТМ	Дополнительная Добыча нефти, тыс. тонн	Прирост дебита нефти, тонн/сут.	Дополнительная закачка воды, тыс. тонн	Суммарная продуктивность эффекта, сут.	Продуктивность эффекта на 1 ГТМ, сут.
БВ <sub>8</sub> <sup>1</sup>	13	1,1	0,7	0,0	1723	132,5
Итого 2013 г.	13	1,1	0,7	0,0	0	132,5
ПК <sub>21</sub>	1	0,1	1,0	0,3	86	86,0
БВ <sub>2</sub>	1	0,0	0,3	0,0	123	123,0
БВ <sub>5</sub>	2	0,6	3,7	0,1	174	87,0
БВ <sub>8</sub> <sup>1</sup>	23	5,9	2,2	3,7	2700	117,4
Итого 2014 г.	27	6,6	2,2	4,2	3083	114,2
БВ <sub>2</sub>	2	0,0	0,5	2,3	21	10,5
БВ <sub>5</sub>	2	1,4	3,4	0,3	405	202,5
БВ <sub>8</sub> <sup>1</sup>	48	4,6	0,8	6,9	5373	111,9
БВ <sub>8</sub> <sup>2</sup>	1	0,2	1,3	0,4	173	173,0
ЮВ <sub>1</sub>	6	0,1	1,0	4,1	110	18,3
Итого 2015 г.	59	6,3	1,0	14,0	6082	103,1
БВ <sub>2</sub>	2	0,0	0,0	0,0	0	0,0
БВ <sub>8</sub> <sup>1</sup>	45	5,4	1,5	11,8	3666	81,5
ЮВ <sub>1</sub>	4	0,0	0,0	0,0	0	0,0
Итого 2016 г.	51	5,4	1,3	0,0	0	132,5
БВ <sub>2</sub>	2	0,0	0,0	0,0	0	0,0
БВ <sub>5</sub>	3	0,4	1,9	0,0	202	67,3
БВ <sub>8</sub> <sup>1</sup>	56	18,5	2,5	136,4	7321	130,7
БВ <sub>8</sub> <sup>2</sup>	1	0,0	0,1	0,0	40	40,0
ЮВ <sub>1</sub>	7	4,1	4,6	19,8	654	93,4
Итого 2017 г.	69	23,0	2,6	156,2	8217	119,1
ПК <sub>21</sub>	1	0,1	1,0	0,3	86	86,0
БВ <sub>2</sub>	7	0,1	0,4	2,3	144	20,6
БВ <sub>5</sub>	7	2,4	2,8	0,4	781	111,6
БВ <sub>8</sub> <sup>1</sup>	185	35,4	1,7	158,9	20783	112,3
БВ <sub>8</sub> <sup>2</sup>	2	0,2	1,1	0,4	213	106,5
ЮВ <sub>1</sub>	17	4,2	2,2	23,9	764	44,9
2013–2017 гг.	219	42,4	1,7	186,2	22771	104,0

В связи с этим представляется целесообразным:

- более широкое применение методов ОПЗ, учитывая условия работы добывающих скважин (низкие забойные давления и иногда низкое качество жидкостей глушения и т.д.);
- проведение лабораторных исследований по подбору на керне состава кислотных жидкостей для ОПЗ;
- использование комплексного проведения ОПЗ с обязательным извлечением продуктов реакции струйными насосами УГИС-6 с целью качественного освоения скважины после ОПЗ с извлечением продуктов реакции;
- проведение селективных обработок в пластах, различных по свойствам частей, с различными ФЭС;



- использование автономных забойных датчиков давления (в комплекте с работой струйного насоса) для качественного подбора подземного оборудования после ОПЗ;
- проведение обработок на нагнетательном фонде скважин с применением технологии селективных обработок и подключение непринимавших частей пласта.

Низкая эффективность ОПЗ связана с тем, что для геолого-промысловых условий месторождения используются простые кислотные обработки, т.е. недостаточно эффективные технологии.

Доля проведенных ОПЗ по объектам, %

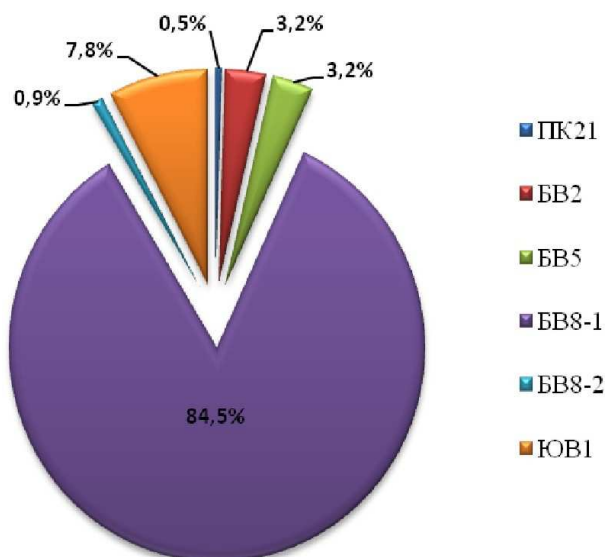


Рисунок 2 – Процентное соотношение операций от ОПЗ по объектам разработки за период 2013–2017 гг.

Доля доп. добычи нефти по объектам за счет ОПЗ, %

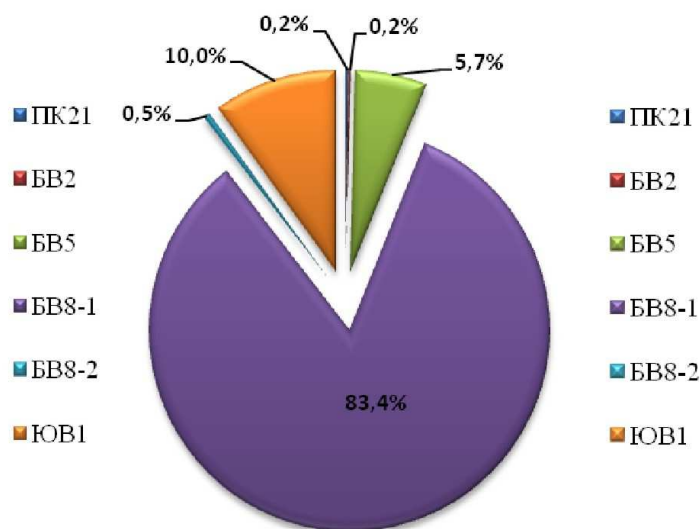


Рисунок 3 – Дополнительная добыча нефти от ОПЗ по объектам разработки за период 2013–2017 гг.

### Кислотные обработки

Кислотные обработки пластов осуществляются как для увеличения, так и для восстановления проницаемости коллектора призабойной зоны скважины. Большинство этих работ проведено при переводе скважин в нагнетание и последующего увеличения их приёмистости.

Стандартная кислотная обработка на Вынгапуровском месторождении заключается в приготовлении раствора в составе 14 % HCl и 5 % HF, объёмом из расчёта 1,2–1,7 м<sup>3</sup> на 1 метр перфорированной толщины пласта и закачки его в интервал перфорации. Время реагирования составляет около 8 часов.

При рассмотрении эффективности воздействия неорганических кислот принимались во внимание нагнетательные скважины с длительной (более одного года) закачкой воды до обработки. Кислотная обработка ПЗС в нагнетательных скважинах оказывается довольно эффективным методом восстановления их приёмистости.

В качестве примера в таблице 3 представлены результаты обработок по ряду нагнетательных скважин.

Таблица 3 – Результаты обработок в нагнетательных скважинах

Скважина	Дата обработки	Приёмистость до обработки, м <sup>3</sup> /сут.	Приёмистость после обработки, м <sup>3</sup> /сут.	Давление закачки, атм.	Тип кислоты
103	10.2010	30	220	185	HCl
91	06.2010	140	480	155	HCl
1127	12.2010	0	360	175	HCl
1765	11.2010	30	280	180	HCl
2770	04.2010	0	335	175	HCl
1792	01.2013	30	288	170	HCl
2712	08.2013	0	410	170	HCl
2734	07.2013	30	410	170	HCl
2730	08.2013	0	340	170	HCl



Анализ проведённых обработок показывает, что композиция соляной и плавиковой кислоты улучшает проницаемость ПЗС. Приёмистость скважин увеличивалась от 1,5 до 10 раз, эффект прослеживается от 3 месяцев до 1 года.

Таким образом, на основании анализа проведённых на месторождении кислотных обработок, можно сделать вывод о целесообразности осуществления кислотных обработок призабойных зон нагнетательных скважин с целью восстановления их приёмистости.

**Анализ эффективности нестационарного циклического заводнения**

Этот вид воздействия на пласт принадлежит к нестационарному заводнению. Программа нестационарного заводнения базируется на данных о гидродинамических свойствах конкретных участков месторождения, распределении остаточных запасов нефти, сформировавшихся фильтрационных потоках и предусматривает расчёт полуциклов закачки и остановки для каждого конкретного участка пласта.

При циклическом воздействии на неоднородный, неравномерно заводнённый пласт перепады давления между различными нефтенасыщенными и заводнёнными зонами и слоями, а также между различными каналами и потоками жидкости попеременно изменяются по величине и направлению, в результате создаются условия для непрерывного перемещения нефти из застойных зон и каналов в зоны активного дренирования.

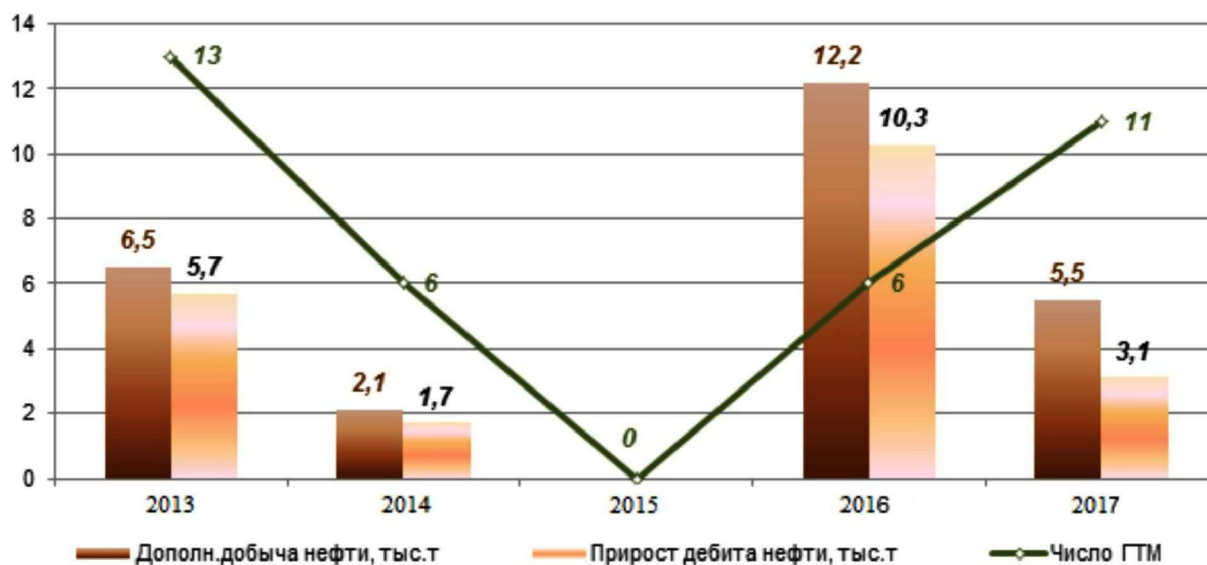
В целом с 1998 года на месторождении было проведено 256 скважино-операций по циклическому заводнению, дополнительная добыча нефти на соседних реагирующих скважинах с учётом переходящего эффекта прошлых лет за этот период составила 80,9 тыс. тонн нефти.

За последние 5 лет циклическое заводнение проводилось в основном на объекте БВ<sub>8</sub><sup>1</sup>, за исключением 1 скважино-операции на скважине № 5434 объекта ЮВ1 (район скважины № 318 ПО) в 2017 году. За этот период проведено 36 скважино-операций, за счёт чего дополнительно добыто 26,3 тыс. тонн нефти, что составляет 0,75 % от всей добычи нефти по месторождению.

Динамика дополнительной добычи нефти от проведения циклического заводнения представлена в таблице 4 и на рисунке 4.

**Таблица 4** – Дополнительная добыча нефти за счёт проведения циклического заводнения в период 2013–2017 гг.

Год	Число ГТМ	Дополнительная добыча нефти, тыс.т	Прирост дебита нефти, тыс. тонн	Дополнительная закачка воды,	Суммарная продолжительность эффекта,	Продолжительность эффекта на 1 ГТМ,	Коэффициент успешности, %
2013	13	6,5	5,7	-27,2	1136	87	92,3
2014	6	2,1	1,7	1,2	1200	200	100
2015	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0
2016	6	12,2	10,3	-5,3	1188	198	100
2017	11	5,5	3,1	8,4	1789	162,6	81,8
Всего	36	26,3	5,6	-22,8	5313	147,6	91,7



**Рисунок 4** – Динамика дополнительной добычи от проведения циклического заводнения в 2013–2017 гг.



Прирост дебитов нефти реагирующих добывающих скважин по годам изменяется от 37,1 тонн/сут. в 2013 году со снижением в конце рассматриваемого периода до 0,3 тонн/сут. в 2017 году, в среднем составляя 5,6 тонн/сут.

Продолжительность эффекта на одно ГТМ по годам изменяется от 28 до 271 сут., в среднем составляет 147,6 сут. Успешность метода – высокая, в среднем – 92 %, варьируя от 82 до 100 %.

Таким образом, применение в процессе разработки нестационарного заводнения, включающего в себя как один из элементов циклическую закачку воды в пласт, является перспективным методом повышения нефтеотдачи обводнённых пластов.

### Литература:

1. Геологический отчёт ОАО «Газпромнефть – ННГ». – Ноябрьск, 2014.
2. Гумерский Х.Х., Жданов С.А., Гомзиков В.К. Прирост извлекаемых запасов нефти за счёт применения методов увеличения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 38–41.
3. Письменский А.В., Арутюнян А.С., Савенок О.В. Математическое моделирование течения жидкости в перфорированных трубах // Ежемесячный научно-технический журнал «Нефтепромышленное дело». – М. : ВНИИОЭНГ, 2013. – № 8. – С. 38–40.
4. Поварова Л.В., Приходько М.Г., Савенок О.В. Факторы, обуславливающие экологическую опасность нефтедобычи / Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодёжи «Экологические проблемы нефтедобычи – 2014» (21–23 октября 2014 года, г. Уфа). – Уфа : изд-во «РИЦ УГНТУ», 2014. – С. 28–32.
5. Савенок О.В., Арутюнян А.С., Петрушин Е.О. Анализ эффективности проведения потокоотклоняющих технологий на Вынгапуровском нефтегазоконденсатном месторождении // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – М. : Издательство ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2017. – № 4. – С. 16–20.
6. Яковлев А.Л., Самойлов А.С., Сезар Лину Андре, Джоакуим Моисес Висенте. Анализ применения и рекомендации потокоотклоняющих технологий на Вынгапуровском месторождении : Булатовские чтения / Материалы I Международной научно-практической конференции (31 марта 2017 года): в 5 томах : сборник статей под общ. ред. д-ра техн. наук О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017. – Т. 2: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – С. 323–331 – URL : <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2017/2/PDF/2017-V2-323-331.pdf>
7. Антониади Д.Г., Савенок О.В., Шостак Н.А. Теоретические основы разработки нефтяных и газовых месторождений : учебное пособие. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 203 с.
8. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.

### References:

1. Geological report of JSC Gazpromneft – NNG. – Noyabrsk, 2014.
2. Gumersky H.H., Village of Zhdanov. And., Gomzikov V.K. Prirost of recoverable oil reserves due to application of methods of increase in oil recovery // Oil economy. – 2000. – No. 5. – P. 38–41.
3. Pismensky A.V., Arutyunyan A.S., Savenok O.V. Mathematical modeling of a current of liquid in the punched pipes // the Monthly scientific and technical magazine «Neftepromyslovoye Delo». – M. : VNIIOENG, 2013. – No. 8. – P. 38–40.
4. Povarova L.V., Prikhodko M.G., Savenok O. In the Factors causing ecological danger the oil production / Collection of reports of the IV International scientific and practical conference with elements of school of sciences for youth «Environmental problems of oil production – 2014» (on October 21–23, 2014, Ufa). – Ufa : RITS UGNTU publishing house, 2014. – P. 28–32.
5. Savenok O.V., Arutyunyan A.S., Petrushin E.O. The analysis of efficiency of carrying out potokootklonyayushchy technologies on the Vyngapurovsky oil-gas condensate field // the Scientific and technical magazine «Inzhenер-nefyanik». – M. : LLC Ai Dee Es Drilling publishing house, 2017. – No. 4. – P. 16–20.
6. Yakovlev A.L., Samoylov A.S., César Lina Andrée, Dzhoakuim Moises of Vicente. The analysis of application and the recommendation of potokootklonyayushchy technologies on the Vyngapurovsky field : Bulatovsky readings / Materials the I International scientific and practical conference (on March 31, 2017): in 5 volumes : the collection of articles under a general edition of the Dr. Sci. Tech. O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2017. – Т. 2: Development of oil and gas fields. – P. 323–331. – URL : <http://id-yug.com/images/id-yug/Bulatov/2017/2/PDF/2017-V2-323-331.pdf>
7. Antoniadis D.G., Savenok O.V., Shostak N.A. Theoretical bases of development of oil and gas fields : manual. – Krasnodar : LLC Prosveshcheniye-Yug, 2011. – 203 p.
8. Bulatov A.I., Savenok O.V. Capital underground repairs of oil and gas wells: in 4 volumes. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2012–2015. – Т. 1–4.