

УДК 622.276.43:661.3

## Интенсификация добычи высоковязкой нефти Опалихинского месторождения

И.Р. Юшков<sup>a</sup>, Г.А. Цветков<sup>a,b</sup><sup>a</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Пермь, Комсомольский пр., 29<sup>b</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

E-mail: zvetkov71043@mail.ru

*(Статья поступила в редакцию 26 мая 2016 г.)*

Одним из важнейших проблемных аспектов при разработке нефтяных месторождений, содержащих высоковязкую нефть, является получение достоверной и оперативной информации о комплексе параметров, необходимых для контроля методов повышения нефтеотдачи пластов, увеличения темпов добычи нефти, снижения обводненности продукции. Проблема приобретает особую актуальность при разработке Опалихинского месторождения, запасы нефти которого отнесены к категории трудноизвлекаемых из-за высокой вязкости в пластовых условиях (87,1 мПа·с) и низкой проницаемости пласта (0,032 мкм<sup>2</sup>). На основании лабораторных исследований составлена и утверждена технологическая схема разработки Опалихинского месторождения с применением метода щелочного заводнения, в которой предусмотрено создание оторочки однопроцентного водного раствора щелочи объемом 0,25 нефтенасыщенного объема пор и последующих методов циклического, системного и комплексного воздействия с получением дополнительной добычи нефти. Результаты гидродинамических исследований указывают на изменения коэффициентов продуктивности, гидропроводности и проницаемости пласта. Применение методов повышения нефтеотдачи позволяет удерживать добычу нефти на достаточно высоком уровне на протяжении 30 лет. Остаточный эффект в виде дополнительной добычи нефти наблюдается и после прекращения воздействия избранного метода. При реализации методов повышения нефтеотдачи получена дополнительная добыча нефти, которая в сумме составляет 771,3 тыс. т, прирост КИН – 11,1%.

Ключевые слова: *щелочное заводнение, карбонатный коллектор, прирост нефтеотдачи, вязкость нефти, циклическая закачка, системное воздействие, потокометрические и гидродинамические исследования, коэффициент продуктивности, гидропроводность, проницаемость.*

DOI: 10.17072/pсу.geol.16.1.84

Опалихинское месторождение, открытое в 1967 г., расположено в юго-западной части Пермского края, в Частинском районе, в 140 км от краевого центра г. Перми. На месторождении промышленно нефтеносны верхнедевонско-турнейский карбо-

натный (пласт Т), визейский терригенный (пласты Бб, Тл2) и верхневизейско-башкирский карбонатный (пласт Бш) нефтегазоносные комплексы. Их разработку ведёт ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Запасы нефти пласта Т отнесены к катего-

рии трудноизвлекаемых из-за высокой вязкости нефти в пластовых условиях – 87,1 мПас·с и низкой проницаемости пласта – 0,032 мкм<sup>2</sup> (Зотиков и др., 2012; Иванова, 1976; Максудов и др., 2005). На основании положительных результатов проведенных лабораторных исследований (Тульбович, Михневич, 1977; Борсуцкий, 1991; Митрофанов, Злобин, 2003) составлена и утверждена технологическая схема разработки Опалихинского месторождения, в которой предусмотрено создание оторочки 1% водного раствора щелочи объемом 0,25 нефтенасыщенного объема пор, сделан расчет необходимого количества реагента в количестве 31,474 тыс. т и продолжительности закачки раствора 20 лет. Технологическая схема утверждена ЦКР в 1981 г.

Разработка Опалихинского месторождения началась на естественном режиме в 1979 г., в следующем году была частично организована закачка пресной воды, которая впоследствии была организована на всей внутриконтурной части залежи. Раствор щелочи был закачен в 1987-1990 гг. на западной части, а в дальнейшем на всей внутриконтурной турнейской залежи (Михневич и др., 1994; Юшков и др., 2013). Продвижение созданной оторочки раствора щелочи закачиваемой водой происходило в 1990-1994 гг. За это время дополнительно получено 135,0 тыс. т нефти. Остаточный эффект от реализации метода длится и после прекращения закачки раствора. По сравнению с базовым вариантом по состоянию на 1.1.2016 дополнительная добыча нефти составляет 375,2 тыс. т. Циклическая закачка воды организована в 1995-2000 гг. За этот период дополнительно получено 54,4 тыс. т нефти. Остаточный эффект от реализации метода также наблюдался и после прекращения воздействия до 2009 г., по состоянию на 1.1.2010 он составил 79,4 тыс. т.

Период с 2001 по 2010 г. характеризуется реализацией и проведением систем-

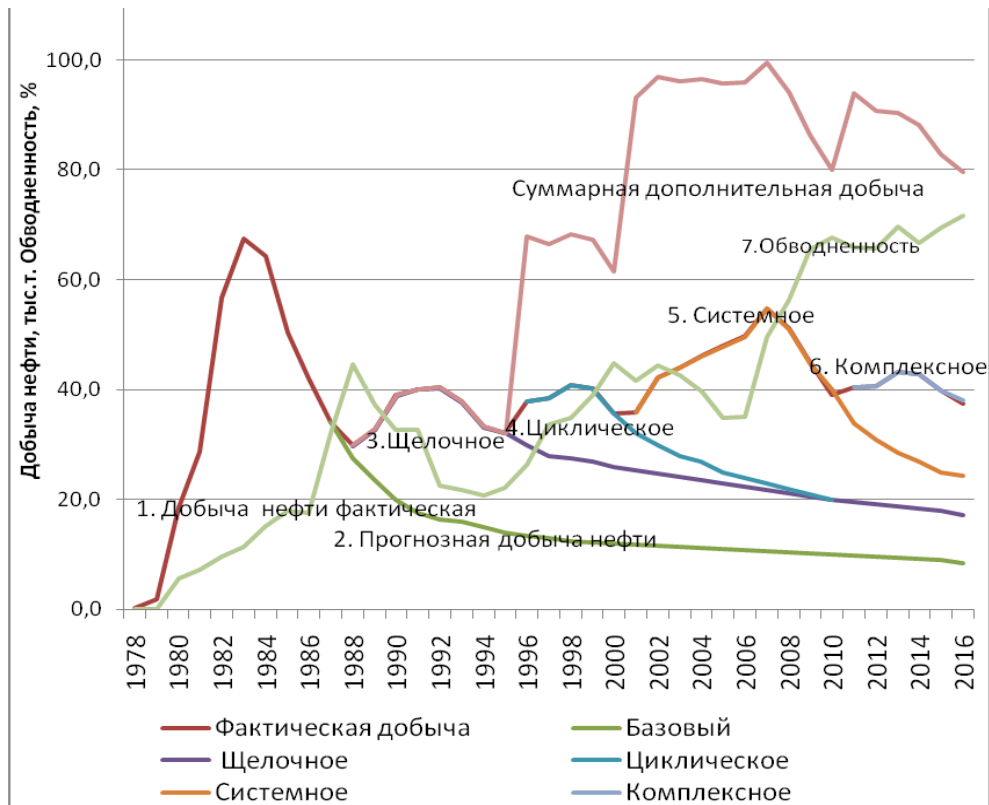
ного заводнения, за этот период дополнительно получено 203,7 тыс. т нефти. Эффект от реализации системного заводнения также продолжается и в последующие годы.

Дополнительная добыча нефти по состоянию на 1.1.2016 составляет 255,5 тыс.т. Период с 2011 по 2015 и в последующие годы характеризуется реализацией и проведением комплексного воздействия. За этот период дополнительно получено 61,2 тыс. т нефти. Остаточный эффект от реализации каждого метода продолжается после прекращения воздействия, дополнительная добыча нефти по всем методам по состоянию на 1.1.2016 в сумме составляет 771,3 тыс. т, прирост КИН – 11,1%.

При реализации каждого метода обводненность продукции заметно снижается в первые годы, особенно при щелочном и системном воздействии, затем увеличивается, к 2015 г. она достигла 75,8%. Основные технологические показатели добычи нефти и обводненности продукции показаны на рис. 1. Эффект от реализации щелочного заводнения, системного и комплексного воздействия не исчерпан, он продолжается и в последующие годы.

Динамика показателей разработки добывающих скважин показана на примере скв. 414, расположенной внутри элемента с нагнетательными скв. 405, 410, 420, 494.

На рис. 2 показано, что добыча нефти при организации каждого нового метода воздействия возрастает до некоторого максимального значения, затем заметно снижается. Наблюдается и снижение обводненности продукции по всем добывающим скважинам. Это отражено на графике добычи нефти и обводненности продукции в целом по всему Опалихинскому поднятию. На добывающих скважинах с односторонним воздействием изменения этих параметров происходят более плавно и в более позднее время.



**Рис. 1.** Динамика добычи нефти при применении методов повышения нефтеотдачи и обводненности продукции по турнейской залежи: 1978–1986 гг. – ввод месторождения в разработку, организация заводнения; 1987–1994 гг. – щелочное заводнение; 1995–2000 гг. – циклическое заводнение; 2001–2010 гг. – системное заводнение; 2011–2015 гг. и далее – комплексное воздействие



**Рис. 2.** Динамика показателей разработки добывающей скважины 414, расположенной внутри элемента

**Таблица 1.** Обобщенные результаты потокометрических исследований по нагнетательным скважинам западной группы Опалихинского месторождения

Скв.	Закачиваемый агент	Эффективная толщина, м	Принимая толщина, м	Доля принимающей толщины, %	Прием м <sup>3</sup> /сут	Давление закачки, МПа
405	Щёлочь	7	5,2	74,3	58	6,7
	Вода	7	2,4	34,3	47,4	9,9
410	Щёлочь	8,1	5,4	66,7	105,2	7,8
	Вода	8,1	3,6	44,4	55,9	9,2
420	Щёлочь	10	7	70,0	144,3	4,7
	Вода	10	3,8	38,0	96,6	5,8
423	Щёлочь	11	6	54,5	51,8	8,2
	Вода	11	4	36,4	80	10,2
433	Щёлочь	6,4	6,0	93,8	29	12,5
	Вода	6,4	2,0	31,2	22,2	10,0
494	Щёлочь	8,5	4,8	56,5	79	5,8
	Вода	8,5	2,4	28,5	51,3	8,0
Среднее по группе	Щёлочь	<b>8,9</b>	<b>5,7</b>	<b>69,3</b>	<b>77,9</b>	<b>7,62</b>
	Вода	<b>8,9</b>	<b>3,0</b>	<b>35,5</b>	<b>59,0</b>	<b>8,85</b>

**Таблица 2.** Динамика показателей разработки по скважине 414

Год	Добыча нефти, т	Обводненность, %	Дебит нефти, т/сут	Год	Добыча нефти, т	Обводненность, %	Дебит нефти, т/сут
1980	71	0,0	2,1	1998	1502	24,7	4,1
1981	203	0,0	0,8	1999	1274	35,5	4,8
1982	523	0,0	2,0	2000	1479	32,4	4,1
1983	601	4,5	4,0	2001	1774	32,6	5,2
1984	1095	6,2	3,4	2002	1737	33,4	5,3
1985	724	2,7	2,3	2003	1404	33,5	3,9
1986	152	0,0	0,8	2004	803	64,2	2,3
1987	386	3,7	1,7	2005	857	67,3	2,4
1988	1144	12,5	3,6	2006	833	64,3	2,3
1989	1450	12,5	4,0	2007	1209	69,0	3,4
1990	1604	12,4	4,4	2008	901	77,5	2,5
1991	1660	5,4	4,6	2009	1258	75,4	3,5
1992	2205	17,2	6,0	2010	1467	73,0	4,0
1993	2231	19,7	6,2	2011	1711	63,8	4,8
1994	623	35,4	1,7	2012	1643	62,9	4,5
1995	1117	14,7	4,3	2013	1983	62,3	5,9
1996	1092	21,8	3,0	2014	1760	69,8	5,2
1997	984	24,5	2,7	2015	1080	97,8	3,2

Таблица 3. Результаты гидродинамических исследований по добывающей скв. 414

Дата исследования	Обводненность, %	Коэффициент продуктивности, м <sup>3</sup> /(сут МПа)	Гидропроводность, мкм <sup>2</sup> см/(МПа·с)	Проницаемость, мкм <sup>2</sup>
23.06.1984	5,0	0,9	5,70	1,418
01.12.1984	5,0	0,7	0,94	0,234
01.12.1985	1,0	0,2	0,31	0,077
01.03.1986	0	1,2	0,66	0,164
06.03.1987	0	0,2	0,10	0,024
23.10.1987	5,0	0,6	0,43	0,107
01.12.1987	4,0	0,8	1,11	0,275
25.04.1988	12,6	0,5	0,13	0,023
11.11.1989	12,8	0,4	0,32	0,068
11.06.2000	37,4	0,6	0,84	0,720
03.04.2001	33,5	0,8	1,12	0,178
05.09.2007	70,0	3,6	4,08	1,010
08.02.2009	70,0	2,7	3,32	0,823
07.07.2013	59,5	3,5	4,38	1,087

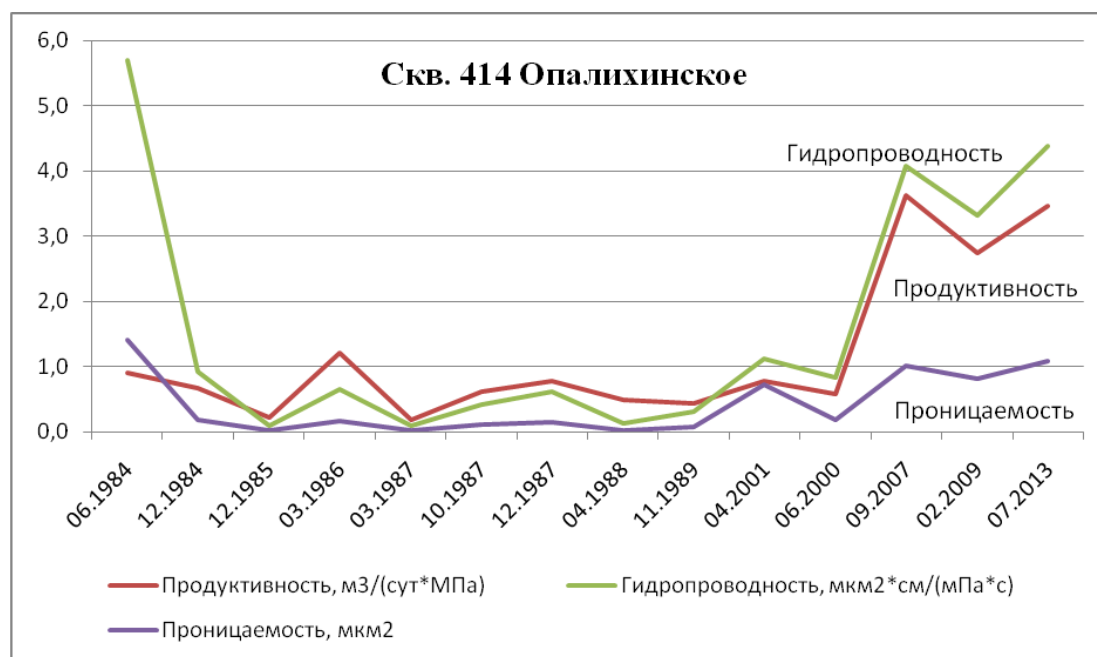


Рис. 3. Результаты гидродинамических исследований по добывающей скважине 414, расположенной внутри элемента

Обобщенные результаты потокометрических исследований турнейской залежи по западному участку нагнетательных скважин 405, 410, 420, 494 и 423, 433 приведены в табл. 1, из них видно, что при закачке раствора щелочи выше приемистость скважин и принимающая толщина,

ниже, чем при закачке воды, давление закачки.

Это свидетельствует об улучшении процесса при закачке щелочного раствора по сравнению с закачкой пресной воды. Подобная динамика имеет место по каждой добывающей скважине. Результаты гидродинамических исследований до-

бывающих скважин также указывают на изменения коэффициентов продуктивности, гидропроводности и проницаемости пласта.

В большинстве случаев можно наблюдать тенденцию к снижению этих показателей при щелочном и циклическом воздействии. При системном воздействии в 2001-2010 гг. можно видеть изменения в сторону улучшения показателей, которые в последующее время уменьшаются, но остаются намного выше первоначальных при щелочном и циклическом воздействии (см. табл.2, 3, рис. 3). Это можно объяснить тем, что при закачке раствора и реакции щелочи с пластовой водой образуются осадки солей кальция и магния, которые заполняют высокопроницаемые пропластки, и раствор поступает в низкопроницаемые интервалы. Таким образом, увеличивается коэффициент охвата пласта заводнением. При системном воздействии и последующей закачке воды этот осадок продвигается по пласту от призабойной зоны и коэффициенты продуктивности, гидропроводности и проницаемости пласта увеличиваются. Разработка турнейской залежи Опалихинского месторождения по состоянию на 1.1.2016 позволила сделать ряд выводов.

## Выводы

1. При реализации каждого метода повышения нефтеотдачи получена дополнительная добыча нефти, которая по всем методам в сумме составляет 771,3 тыс. т, прирост КИН – 11,1%.

2. Применение методов позволяет удерживать добычу нефти на высоком уровне на протяжении 30 лет.

3. Остаточный эффект в виде дополнительной добычи нефти продолжается и после прекращения метода воздействия.

4. Состояние разработки турнейской залежи Опалихинского месторождения

можно считать удовлетворительным: при высокой вязкости нефти (87,1 мПас·с) обводненность составляет 75,8%, а отбор нефти – 45,4%.

5. В соответствии с утвержденной программой контроля и регулирования процессов ведутся отбор проб по добывающим и нагнетательным скважинам, замер дебитов и приемистости, гидродинамические исследования с последующим анализом.

## Библиографический список

- Борсуцкий З.Р., Тульбович Б.И., Злобин А.А.* Изучение остаточной нефти в поровом объеме пород-коллекторов импульсным методом ядерного магнитного резонанса // Нефтяное хозяйство. 1991. №10. С. 23–27.
- Зотиков В.И., Козлова И.А., Кривошеиков С.Н.* Геологические основы рациональной разработки нефтяных и газовых месторождений: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм.нац.исслед.политехн.ун-та, 2012. 169 с.
- Иванова М.М.* Динамика добычи нефти из залежей. М.: Недра, 1976. 247 с.
- Максатов Р., Орлов Г., Осипов А.* Освоение запасов высоковязких нефтей в России (Электронный ресурс). 2005. URL:<http://www.oilcapital.ru/edition/archives/technik-06.2005/81690/public/82177/shtml>.
- Митрофанов В.П., Злобин А.А.* Остаточная нефтенасыщенность и особенности порового пространства карбонатных пород / Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2003. 240с.
- Михневич В.Г., Гудков Е.П., Юшков И.Р. и др.* Результаты щелочного заводнения на месторождениях Пермской области // Нефтяное хозяйство. 1994. №6. С.26–35.
- Тульбович Б.И., Михневич В.Г.* Применение оторочки щелочи для повышения нефтеотдачи высоковязкой нефти // Нефтепромысловое дело. 1977. № 12. С. 5–9.
- Юшков И.Р., Ерофеев А.А., Юшков А.И. и др.* Оценка результатов щелочного заводнения в Пермском крае // Нефтепромысловое дело. 2013. № 9. С. 57–63.

# Intensification of Highly-Viscous Oil Recovery at the Opalikhinskoe Field

I.R. Yushkov<sup>a</sup>, G.A. Tsvetkov<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolskiy Av., Perm 614000, Russia

<sup>b</sup>Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: zvetkov71043@mail.ru

Obtaining a reliable and quick information about parameters needed to control methods of Enhanced Oil Recovery (EOR), increase of the oil production rate, and a reduction of the water cut is one of the main problems in the development of heavy oil fields. This problem is of most concern while developing Opalikhinskoe oil field containing the difficult oil reserves due to high oil viscosity and low reservoir permeability. The results of the laboratory studies allowed to work out the plan of Opalikhinskoe field development based on the method of alkaline flooding that forms a surfactants to lower interfacial tension inside the porous reservoir. Accompanied with the cyclic, systematic, and integrated stimulation, it allowed increasing the oil production. The results of well tests indicate changes in productivity indexes of hydraulic conductivity and permeability. Application of the Enhanced Oil Recovery methods allows supporting the oil production at a high level for 30 years. Residual effect of higher oil production continues after ending the implementation of these methods.

Key words: *base flooding, carbonate reservoir, oil increase, oil viscosity, cyclic injection, systemic exposure, flow and hydrodynamic studies, productivity index, hydraulic permeability, permeability.*

## References

- Borsutsky Z.R., Tulbovich B.I., Zlobin A.A. 1991. Izuchenie ostatochnoy nefi v porovom obyome porod-kollektorov impulsnym metodom yadernogo magnitnogo rezonansa [Study of the residual oil within the pore space of the reservoir using the pulsed nuclear magnetic resonance]. Neftyanoe khozyaystvo. 10:23–27. (in Russian)
- Zotikov V.I., Kozlova I.A., Krivoshechekov S.N. 2012. Geologicheskie osnovy ratsionalnoy razrabotki neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy [Geological fundamentals of rational development of oil and gas fields]: Uchebn.posob. Perm. Nats. Issled. Politekhn.Univ., Perm, p. 169. (in Russian)
- Ivanova M.M. 1976. Dinamika dobychi nefi iz zalezhey [Dynamics of reservoir oil production]. Nedra, Moskva, p. 247. (in Russian)
- Maksutov R., Orlov G., Osipov A. 2005. Osvoenie zapasov vysoko-vyazkikh neftey v Rossii [The development of the highly-viscous oil reserves in Russia]. URL: <http://www.oilcapital.ru/edition/archives/technik-06.2005/81690/public/82177/shtml>. (Accessed 02.11.2016)
- Mitrofanov V.P., Zlobin A.A. 2003. Ostatochnaya neftenasyshchennost i osobennosti porovogo prostranstva karbonatnykh porod [Residual oil saturation and characteristics of the pore space of carbonate rocks]. PGU, Perm, p. 240. (in Russian)
- Mikhnevich V.G., Gudkov E.P., Yushkov I.R. et al. 1994. Rezultaty shchelochnoy zavodneniya na mestorozhdeniyakh Permskoy oblasti [The results of an alkali flooding at oil fields of the Perm Region]. Neftyanoe khozyaystvo..6:26–35. (in Russian)
- Tulbovich B.I., Mikhnevich V.G. 1977. Primenenie otorochki shchelochi dlya povysheniya nefteotdachi bysoko-vyazkoy nefi [Use of alkali surfactants for enhanced recovery of heavy oil]. Neftpromyslovoe delo. 12:5-9. (in Russian)
- Yushkov I.R., Yerofeyev A.A., Yushkov A.I. et al. 2013. Otsenka rezultatov shchelochnoy zavodneniya v Permskom krae [Evaluation of alkaline flooding in Perm Krai]. Neftpromyslovoe delo. 9:57-63. (in Russian)