

# Физико-химические МУН на поздней стадии разработки месторождений

**Т.В. Трифонов**

главный геолог<sup>1</sup>

[Trifonov\\_t\\_v@mirrico.com](mailto:Trifonov_t_v@mirrico.com)

**Р.И. Саттаров**

директор<sup>1</sup>

[Sattarov\\_r\\_i@mirrico.com](mailto:Sattarov_r_i@mirrico.com)

**А.В. Хурматуллин**

заместитель начальника управления разработки-начальник отдела ТОРНМ<sup>2</sup>  
[Hurmatullin@belkam.com](mailto:Hurmatullin@belkam.com)

**Д.В. Сазонов**

ведущий инженер ТОРНМ УР<sup>2</sup>

[Sazonov@belkam.com](mailto:Sazonov@belkam.com)

<sup>1</sup>ООО «Делика», Казань, Россия

<sup>2</sup>ПАО «Белкамнефть», Ижевск, Россия

**Поскольку основным методом воздействия на нефтяные пласты является заводнение, повышение его эффективности остаётся основной задачей. Применение методов химического воздействия позволяет повысить добычу нефти, но существует проблема низкой продолжительности эффекта. Это связано с увеличением кратности обработок, ухудшением структуры извлекаемых запасов и с ограниченным спектром технологий, применяемых при определённых геологических условиях. Из этого следует вывод о необходимости поиска новых МУН. Один из методов, который мог бы существенно повысить нефтеотдачу на поздней стадии разработки месторождений — полимерное заводнение.**

## Ключевые слова

трудноизвлекаемые запасы нефти, перераспределение фильтрационных потоков, выравнивание фронта закачиваемой воды, водорастворимые полимеры, адсорбция полимера на породе, остаточный фактор сопротивления

На месторождениях ПАО «Белкамнефть» применение методов увеличения нефтеотдачи позволяет повысить добычу нефти, но существует проблема низкой продолжительности эффекта. Одной из причин недостаточной эффективности заводнения является высокое соотношение вязкостей добываемой нефти и закачиваемой воды, кроме того, неоднородность пласта усиливает неравномерность продвижения фронта вытеснения. В неоднородных по проницаемости пластах добыча нефти сопровождается преждевременными прорывами вытесняющего агента по наиболее проницаемым зонам, что снижает охват пласта вытеснением и нефтеотдачу в целом. Эффективность заводнения можно повысить с помощью методов физико-химического воздействия на продуктивные пласты [1].

Описываемое месторождение ПАО «Белкамнефть» по величине запасов относится к средним. Промышленно-нефтеносными на месторождении являются карбонатные отложения верейского горизонта, башкирского яруса, терригенные отложения алексинского, тульского и бобриковского горизонтов визейского яруса. Пласты тульского и бобриковского горизонтов объединены в единый подсчетный объект и эксплуатируются одной сеткой скважин (рис. 1).

За период эксплуатации месторождения по состоянию на январь 2015 г. проведено 187 геолого-технических мероприятий (ГТМ) на добывающем фонде и 23 мероприятия на нагнетательном фонде.

Основную долю мероприятий на добывающем фонде составили различные модификации кислотного воздействия (71 обработка), ремонтно-изоляционные работы (9 операций), мероприятия по оптимизации оборудования (69 операции) и реперфорация (38 операций). Остальные мероприятия проводились в меньших объемах одними из которых являются технологии создания отклоняющих экранов в продуктивных пластах.

Проведённые ГТМ позволили дополнительно добыть 5,7% от накопленной добычи нефти месторождения в целом. Средний удельный технологический эффект составил 606 т нефти на одну скважинную операцию.

На верейско-башкирском объекте разработки выполнено 98 ГТМ, при средней эффективности одного мероприятия 2,3 т/сут. На визейском объекте разработки выполнено 89 ГТМ, средняя эффективность составила 6,9 т/сут.

На месторождении из-за высоких фильтрационных свойств терригенных коллекторов визейского яруса и приёмистости нагнетательных скважин до 1000 м<sup>3</sup>/сут, при проведении МУН существует необходимость учитывать продолжительность времени гелеобразования композиций, в таких условиях наибольшее применение нашли физико-химические МУН, классифицируемые как ВПП — с закачкой в нагнетательные скважины составов в объёме от 450 до 1200 м<sup>3</sup> (рис. 2).

В настоящий момент визейский объект месторождения находится на 4 стадии

разработки. В 2011 г. на месторождении была организована система ППД, это привело к росту добычи нефти и объемов попутно-извлекаемых вод (обводненность продукции увеличилась с 40 до 85%), что было обусловлено прорывами фронта закачиваемой воды. Факт обводнения закачиваемой водой подтверждается проведёнными межскважинными индикаторными исследованиями, на основании которых были построены розы-диаграммы направлений и долей нагнетаемой воды в области низкого фильтрационного сопротивления (ФНС) (рис. 3).

Выход индикатора по ряду добывающих скважин фиксировался на следующие сутки после закачки, причем дальнейшее наблюдение показало, что поступление трассера происходило пиками, этот факт свидетельствует о том, что трассирующий агент продвигался не по одному, а по нескольким локальным каналам фильтрации, которые отличаются проницаемостью и протяженностью. Объём воды, фильтрующейся по каналам НФС, в ряде случаев достигал 70%. Данная ситуация способствует активному внедрению физико-химического воздействия для перераспределения потока закачиваемой воды по фильтрационным каналам и выравниванию фронта нагнетаемой воды [2].

На визейском объекте месторождения физико-химические МУН, а именно по ВПП внедрялись с 2012 г. По результатам проведения технологий было получено дополнительно 9,5 тыс. тонн добытой нефти.

На сегодняшний день технологии по ВПП основаны на химической природе реагентов и механизмах физико-химических процессов, приводящих к образованию из них в пластовых условиях блокирующего водоотклоняющего экрана. Для большинства геолообразующих технологий наиболее распространены системы на основе полиакриламида с различными сшивателями.

С 2012 г. и по настоящее время на месторождении внедрялись полимерные и полимердисперсные технологии, отобранные по геологическим характеристиками объекта и критериями применимости технологий (таб. 1).

Принцип действия полимерной технологии заключается в закачке водорастворимых полимеров с добавлением специальных сшивателей, растворы которых способны проникать в глубь пласта и создавать в пластовых условиях потокоотклоняющие экраны.

На основании экспериментальных исследований принципом действия полимердисперсной технологии является, то что частицы закачиваемой глины, поступающей в пласт в виде суспензии, вступают во взаимодействие с молекулами ПАА, частично адсорбированными на породе и находящимися во взвешенном состоянии. Адсорбция ПАА приводит к снижению проникновения глинистых частиц в мелкие поры и обеспечивает удержание частиц в пористой среде. Наличие свободных сегментов макромолекул ПАА обеспечивает прочную связь образующихся

полимер дисперсных агрегатов с поверхностью горных пород [3, 4].

Несмотря на то, что технологии подтвердили свою эффективность как лабораторно, так и промышленным применением, в последнее время отмечается снижение удельной эффективности по добыче нефти на участке воздействия. Это связано как с изменением структуры извлекаемых запасов, так и с ограниченным спектром технологий, применяемых при данных геологических условиях. На этом фоне сокращается экономическая эффективность с увеличением объёмов композиций, которое непосредственно ведёт к росту стоимости данных работ. Между тем потенциал для применения МУН остаётся на достаточно высоком уровне. Из этого можно сделать вывод о необходимости поиска

новых МУН для данного месторождения.

Полимерное заводнение — один из наиболее перспективных физико-химических методов увеличения нефтеотдачи с использованием водорастворимых ПАА. Механизм основан на снижении подвижности закачиваемой воды, выравнивании вязкости за счёт частичной адсорбции полимера на породе, создания остаточного фактора сопротивления, выравнивании фронта продвижения закачиваемой воды по площади заводнения и вертикальному разрезу продуктивного пласта [5].

В настоящее время на куполе №1 данного месторождения в некоторых рядах эксплуатационных скважин обводнённость составляет 34%, но её величина варьирует и достигает 96%. Это даёт основание полагать, что фронт вытеснения продвигается неравномерно,

главная причина которого — прорыв вытесняющего агента по наиболее проницаемым прослоям. ФЭС коллектора приняты по месторождению постоянными во всех скважинах, но, учитывая расчленённость коллектора, по-видимому, существуют непромытые участки пласта, что подтверждается дебитами нефти по некоторым скважинам.

Купол №1 месторождения был предложен под полимерное заводнение исходя из следующих условий:

- имеется неоднородность строения коллектора месторождения (рис. 2, 4);
- наличие остаточных извлекаемых запасов нефти и неравномерность их распределения по площади (рис. 5);
- высокая проницаемость продуктивных пластов;

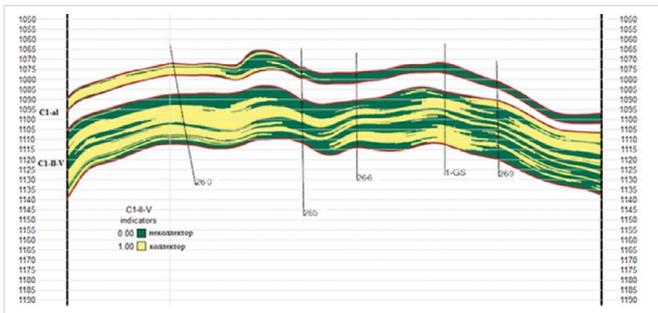


Рис. 1 — Геологический разрез визейского объекта разработки

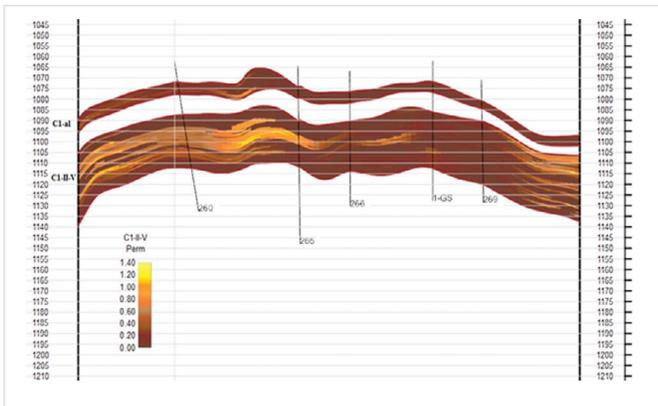


Рис. 2 — Разрез куба коэффициентов проницаемости коллекторов визейского объекта разработки

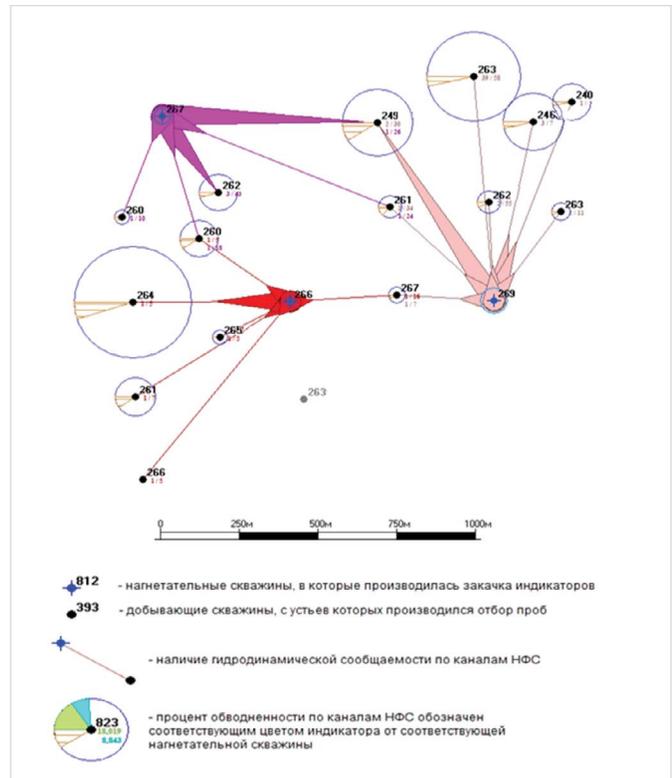


Рис. 3 — Роза-диаграмма направлений и долей нагнетаемой воды в область НФС

№ нагн. скв.	Год проведения ВПП	Вид ГТМ	Объём воздействия, м <sup>3</sup>	Приёмистость, м <sup>3</sup> /сут.		Количество реагирующих скважин, шт.	Средняя обводнённость участка до ВПП, %	Средняя обводнённость участка после ВПП, %	Дополнительная добыча нефти за счёт ВПП, тонн
				До обработки	После обработки				
№269	2012	ПДС	1200	715	509	4	77	71	811
№266	2012	СПС	700	280	276	4	87	86	1755
№267	2012	СПС	760	735	720	2	58	47	255
№267	2013	ПДС	1000	505	460	3	79	77	22
№266	2013	ПДС	1000	426	300	5	85	82	706
№267	2014	ПДС	1000	580	568	5	93	92	616
№261	2014	ПДС	1000	180	155	3	74	58	1592
№261	2014	ПДС	1000	655	631	4	93	92	3110
№266	2014	ПДС	1200	518	442	7	97	96	540
№264	2014	СПС	470	226	170	3	84	83	158
№266	2015	СПС	450	720	640	4	91	90	85
№261	2015	СПС	450	650	620	4	92	91	384
№267	2015	СПС	450	580	535	2	98	97	108
№269	2015	СПС	450	1020	830	3	95	94	100

Таб. 1 — Технологии, реализованные на месторождении по ВПП

- на данный момент имеется достаточное число нагнетательных и окружающих добывающих скважин;
- имеется возможность закачки полимера с блока гребёнки или КНС непосредственно на кусте скважин;
- удовлетворительное техническое состояние эксплуатационных колонн и цементного камня по данному участку.

На основании данных критериев для осуществления полимерного заводнения был сформирован участок воздействия с нагнетательными скважинами, имеющих различную приёмистость от 180 до 1020 м<sup>3</sup>/сут. А также реагирующее окружение с различными дебитами жидкости от 12 до 1650 м<sup>3</sup>/сут. с обводнённостью продукции от 29 и до 98%.

Важной составляющей эффективности полимерного заводнения является:

1. Выбор объекта воздействия (сбор и анализ информации по объекту).
2. Подбор композиции химических реагентов (лабораторные тестирования, подбор сопутствующей химии: ПАВ, биоциды, деэмульгаторы, сорбенты кислорода (диоксолы) и т.д.).
3. Обоснование эффективности (результаты

моделирования процессов воздействия, обоснование экономической эффективности).

4. Проектирование и обоснование технологического оборудования (техническое проектирование стационарного или мобильного модульного оборудования).
5. Логистика (доставка, обвязка и пусконаладка оборудования на месте проведения работ, хранение и охрана химических реагентов).
6. Сервис (реализация и контроль работ, отбор проб и мониторинг процесса).

Выбор полимера для геолого-физических характеристик купола №1 данного месторождения будет осуществляться с учётом индивидуальных особенностей и состояния разработки месторождения (в первую очередь учитывающих минерализацию пластовых вод и пластовую температуру). Основным критерием выбора реагентов будет стоимость и физико-химические свойства получаемых композиций: вязкость (молекулярная масса), содержание карбоксильных групп в макромолекулах полимера (степени гидролиза).

Следующим этапом будут выполняться лабораторные испытания отобранных

составов для полимерного заводнения с последующими фильтрационными исследованиями на образцах керна. Основными геологическими параметрами применимости полимеров являются: фактор сопротивления, скорость фильтрации и проницаемости, адсорбционные характеристики, стабильность в пористой среде [6].

На основании результатов лабораторных исследований будет проводиться численное моделирование процесса полимерного заводнения. В настоящее время существует ряд широко применяемых гидродинамических симуляторов: полимерный модуль Polymer Eclipse, Reveal, Roxar Tempest, tNavigator, в которых заложены математические модели, и разработаны соответствующие им методики расчёта, отражающие приближённые к реальности процессы полимерного заводнения. В данном случае предлагается производить расчёты прогнозных технологических показателей в программном комплексе «Reveal». Используемый программный комплекс «Reveal» дополнительно позволяет моделировать специальные пластовые исследования: тепловые, химические методы, геомеханические эффекты, шестикомпонентную систему, адсорбцию и т.д.

Комплексный подход к проведению работ даст нам окончательно выбрать и обосновать вид воздействия и применяемый полимер. Позволит рассчитать объём закачиваемой композиции и продолжительность воздействия. После чего будет произведен расчет экономического обоснования применения полимерного заводнения [7].

Мероприятиями, позволяющими оперативно оценивать ожидаемый эффект непосредственно на месторождении, будут являться промысловые геофизические исследования по определению профиля приёмистости и притока скважин с постоянным отбором проб.

## Итоги

1. Положительного результата при реализации проекта по полимерному заводнению можно добиться только при объективном выборе опытного участка, качественного подбора полимера под условия конкретного участка, адаптации технологии полимерного заводнения к реальным условиям месторождения, качественного построения и адаптации гидродинамической модели участка заводнения, правильного выбора технологического решения и профессионального подхода к предстоящей работе.
2. В процессе реализации проекта необходимо предусмотреть технологическую возможность утилизации добываемой пластовой воды, вследствие уменьшения объёмов закачки в нагнетательные скважины с последующим увеличением КИН с сопровождающимся ростом объёмов попутно добываемой воды.
3. Для оценки эффективности полимерного заводнения на участке воздействия информативным будет анализ результатов бурения уплотняющей ячейки эксплуатационной скважины или бурения бокового ствола из старого фонда скважин с отбором керна для определения

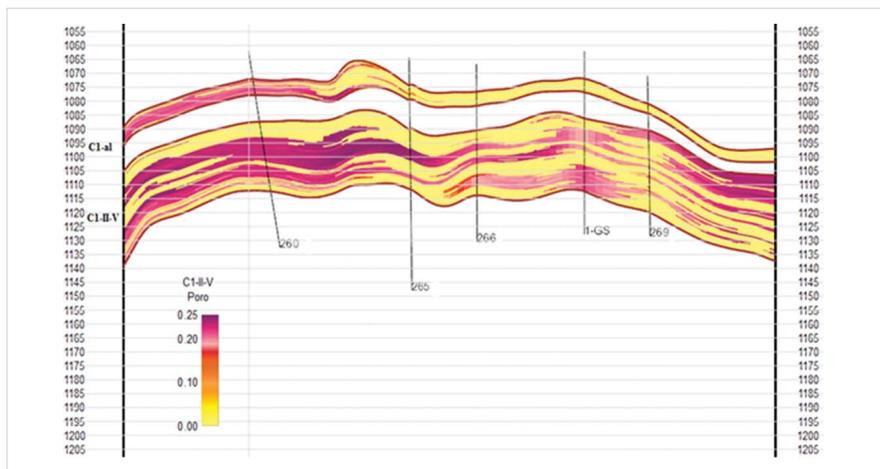


Рис. 4 — Разрез куба коэффициента пористости пластов визейского объекта разработки

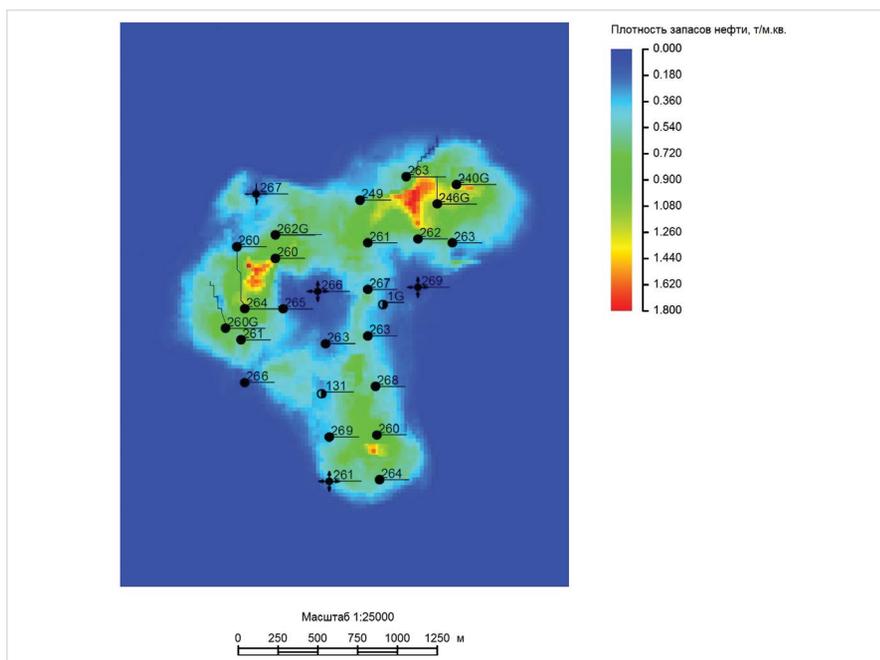


Рис. 5 — Карта остаточных запасов нефти визейского объекта разработки

остаточной нефтенасыщенности после воздействия.

#### Выводы

1. Для снижения механической деструкции при длительном технологическом процессе полимерного заводнения, рекомендуется производить закачку полимера попеременно-периодически с водой, а также необходимо предусмотреть специальное устьевое оборудование по подготовке и закачке полимера.
2. Для снижения химической деструкции необходимо перед закачкой наиболее стабильного полимера в пласт, в особых геологических условиях, создать оторочку пресной воды.
3. Для снижения термической деструкции необходимо лабораторно выбирать термостабильные полимеры, а также обращать внимание при выборе объекта

воздействия на текущую пластовую температуру.

4. Анализ полимерного заводнения показывает, что дополнительная добыча нефти составляет 1300 т на 1 т реагента, в среднем по объектам воздействия расход реагента составляет порядка 400 т.

#### Список используемой литературы

1. Муслимов Р.Х. Современные методы повышения нефтеизвлечения: проектирование, оптимизация и оценка эффективности. Казань: Фэн, 2005. 688 с.
2. Интерпретации результатов трассирования фильтрационных потоков. Отчёт. Ижевск: УНИПР, 2014. 33 с.
3. Хавкин А.Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа. Изд. 2-е. М.: Нефть и газ, 2008. 171 с.
4. Хавкин А.Я. Расчет процесса

фильтрации минерализованной воды в нефтесодержащих глинах.

- Государственный фонд алгоритмов и программ СССР, П003958. Алгоритмы и программы. Информ. бюлл., М.: ВНИЦентр, 1980. № 1. С. 51.
5. Никитина А. Технология АСП как решение проблемы истощения традиционных запасов // Нефтегазовая Вертикаль. 2014. №10. С. 24–26.
6. Мартос В.Н. Применение полимеров в нефтедобывающей промышленности. Обзор зарубежной литературы. Москва: ВНИИОЭН, 1974. 96 с.
7. Хисамутдинов Н.И., Шаймарданов М.Н., Литвин В.В., Хазов С.И. Обоснование выбора объекта под полимерное воздействие на примере пластов АВ13 и АВ2-3 Самотлорского месторождения // Нефтепромысловое дело. 2012. №11. С. 54–59.

ENGLISH

OIL PRODUCTION

UDC 622.276

## Physical and chemical advanced oil recovery methods at last stage field development

#### Authors:

**Timur V. Trifonov** — chief geologist<sup>1</sup>; [Trifonov\\_t\\_v@mirrico.com](mailto:Trifonov_t_v@mirrico.com)

**Rustam I. Sattarov** — director<sup>2</sup>; [Sattarov\\_r\\_i@mirrico.com](mailto:Sattarov_r_i@mirrico.com)

**Azat V. Khurmatullin** — deputy development department<sup>2</sup>; [Hurmatullin@belkam.com](mailto:Hurmatullin@belkam.com)

**Denis V. Sazonov** — lead engineer<sup>2</sup>; [Sazonov@belkam.com](mailto:Sazonov@belkam.com)

<sup>1</sup>Delika LLC, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Belkamneft PJSC, Izhevsk, Russian Federation

#### Abstract

Since water flooding is the main recovery method, primal goal is the increasing its efficiency. That is possible by chemical methods, which allows to increase the oil recovery, but one problem takes place. The result is not long-term-stable and it keeps degrade although the treating still coming. Its connected with deterioration of the structure of recoverable reserves and with a limited range of technologies used in certain geological conditions. This suggests the need to find new EOR-technologies. One of the methods that could significantly increase oil recovery in the late stages of field development is polymer flooding.

#### Results

1. The positive result on polymer flooding can be achieved in next conditions:
  - an objective selection of the pilot area
  - adaptation of the technology of polymer flooding to the real conditions of the oilfield

- design and adaptation of hydrodynamic models of area flooding
  - the right choice of technological solutions
  - a professional approach to the work performance.
2. The opportunity of utilizing waste water must be provided during the process of implementation of the project, due to reduced volumes of injection into injection wells, followed by an increase of oil recovery with an accompanying increase in the volume of produced water.
  3. Analysis of infill drilling of production wells or sidetrack drilling on the old wells and coring to determine the residual oil saturation after exposure will be informative to evaluate the effectiveness of polymer flooding at the impact area.

#### Conclusions

1. It's strongly recommended to periodically alternate polymer injection with water, as well as necessary to provide a special

wellhead equipment for the preparation and injection of polymer to reduce mechanical destruction during long-term process of polymer flooding.

2. It's necessary to create fresh water slug before injection of more stable polymer in structure in special geological condition to reduce chemical destruction.
3. It's necessary to select laboratory thermostable polymers, as well as to look for when selecting an impact object on its current reservoir temperature to reduce the thermal destruction.
4. Analysis of polymer flooding shows that additional oil production is 1300 t per 1 t of reagent, the average reagent flow is 400 t per impact object.

#### Keywords

hard extracted reserves, filtration flow transfer, conformance control, watersoluble polymers, polymers adsorption in formation, residual resistance factor

#### References

1. Muslimov R.Kh. *Sovremennye metody povysheniya nefteizvlecheniya: proektirovanie, optimizatsiya i otsenka effektivnosti* [Actual advanced oil recovery methods: design, optimization and efficacy evaluation]. Kazan: Fen, 2005, 688 p.
2. *Interpretatsii rezul'tatov trassirovaniya fil'tratsionnykh potokov* [Interpretation of the results of tracing the flow filtration]. Report. Izhevsk: UNIPR, 2014, 33 p.
3. Khavkin A.Ya. *Nanotekhnologii v dobyche nef'ti i gaza* [Nano technologies in oil and gas production]. 2-d ed. Moscow: Neft' i gaz, 2008, 171 p.
4. Khavkin A.Ya. *Raschet protsessa fil'tratsii mineralizovannoy vody v neftesoderzhashchikh glinakh* [Calculation of the filtration process mineralized water oily clay]. State Fund of algorithms and programs of the USSR P003958. Algorithms and programs. Information bulletin. Moscow: VNTITsentr, 1980, issue 1, p. 51.
5. Nikitina A. *Tekhnologiya ASP kak reshenie problemy istoshcheniya traditsionnykh zapasov* [ASP technology as solution of depletion of traditional reserves]. Oil and Gas Vertical, 2014, issue 10, pp. 24–26.
6. Martos V.N. *Primenenie polimerov v neftedobyvayushchey promyshlennosti* [Applying the polymers in oil and gas industry]. Literature review. Moscow: VNIIOEN, 1974, 96 p.
7. Khisamutdinov N.I., Shaymardanov M.N., Litvin V.V., Khazov S.I. *Obosnovanie vybora ob'ekta pod polimernoe vozdeystvie na primere plastov AV13 i AV2-3 Samotlorskogo mestorozhdeniya* [Selection rationale the object to polymer flooding on example AV13 and AV2-3 layers of Samotlor field]. *Neftegazovoe delo*, 2012, issue 11, pp. 54–59.