

УДК 622.276.6

МРНТИ 52.47.27

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108594>

Получена: 08.09.2022.

Одобрена: 17.11.2022.

Опубликована: 27.12.2022.

Оригинальное исследование

Исследование влияния перехода на низкоминерализованную воду при полимерном заводнении

Ж.Ж. Абилов¹, Р. Абилов², Б. Саюк³, Л. Жиль³, Т. Дивер³

¹ SNF Vostok, г. Алматы, Казахстан

² Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

³ SNF SA, Андризье, Франция

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Повышение эффективности проекта полимерного заводнения как с технологической, так и экономической стороны, является всегда актуальным.

Цель. Целью данной работы является рассмотрение перехода на менее минерализованную воду как достаточно простой и результативный способ повышения эффективности проекта полимерного заводнения.

Материалы и методы. В работе использовались данные с реального проекта полимерного заводнения.

Результаты. В результате удалось значительно снизить расход полимера и повысить эффективность закачки.

Заключение. Данная работа показывает, что использование менее минерализованной воды является простым и результативным способом снижения затрат и повышения эффективности полимерного заводнения.

Ключевые слова: полимерное заводнение, химические методы повышения нефтеотдачи, низкоминерализованные воды, вязкость.

Как цитировать:

Абилов Ж.Ж., Абилов Р., Саюк Б., Жиль Л., Дивер Т. Исследование примера перехода на низкоминерализованную воду при полимерном заводнении // *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*. 2022. Том 4, №4. С. 68–77. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108594>

UDC 622.276.6

CSCSTI 52.47.27

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108594>

Received: 08.09.2022.

Accepted: 17.11.2022.

Published: 27.12.2022.

Original article

Research of the impact of switching to low- salinity water during polymer water flooding

Zhandos Z. ABIROV¹, Rustem ABIROV², Bertrand SAHUC³, Ludwig GIL³, Thomas DIVERS³

¹ SNF Vostok, Almaty, Kazakhstan

² KBTU, Almaty, Kazakhstan

³ SNF SA, Andrézieux, France

ABSTRACT

Background: Increasing the efficiency of a polymer flooding project, both technologically and economically, is always relevant.

Aim: This paper aims to consider switching to less saline water as a fairly simple and effective way to increase the effectiveness of a polymer flooding project.

Materials and methods: The work used data from a real polymer flooding project.

Results: As a result, we have been able to significantly reduce polymer consumption and improve pumping efficiency.

Conclusion: This work shows that, with the possibility of using less saline water, as a simple and effective way to reduce costs and increase efficiency, rolling polymer flooding.

Keywords: *polymer flooding, chemical methods of enhanced oil recovery, low-mineralized waters, viscosity.*

To cite this article:

Abirov ZZ, Abirov R, Sahuc B, Gil L, Divers T. Research of the impact of switching to low-salinity water during polymer water flooding. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2022;4(4):68–77. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108594>

ӨОЖ 622.276.6

ГТАХР 52.47.27

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108594>

Қабылданды: 08.09.2022.

Мақұлданды: 17.11.2022.

Жарияланды: 27.12.2022.

Түпнұсқа зерттеу

Полимерлі суландыру кезінде төмен минералданған суға ауысу үлгісін зерттеу

Ж.Ж. Әбіров¹, Р. Әбіров², Б. Саюк³, Л. Жиль³, Т. Дивер³

¹ SNF Vostok, Алматы қ., Қазақстан

² Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ-сы, Қазақстан

³ SNF SA, Андризье, Франция

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Полимерлі суландыру жобасының тиімділігін арттыру технологиялық жағынан да, экономикалық жағынан да әрқашан өзекті болып табылады.

Мақсат. Бұл жұмыстың мақсаты – полимерлі суландыру жобасының тиімділігін арттырудың қарапайым және тиімді әдісі ретінде тұздылығы төмен суға көшуді қарастыру.

Материалдар мен тәсілдер. Жұмыста нақты полимерлі суландыру жобасының деректері пайдаланылды.

Нәтижелер. Нәтижесінде полимер тұтынуды айтарлықтай азайтуға және кабат айдау тиімділігін арттыруға қол жеткізілді.

Қорытындылар. Бұл жұмыс тұздылығы төмен суды пайдалану шығындарын азайтудың және тиімділігін арттырудың қарапайым және тиімді әдісі екенін көрсетеді.

Негізгі сөздер: полимерлі суландыру, мұнай шығаруды арттырудың химиялық әдістері, тұздылығы төмен су, тұтқырлық.

Дәйексөз келтіру үшін:

Абиров Ж.Ж., Абиров Р., Саюк Б., Жиль Л., Дивер Т. Полимерлі суландыру кезінде төмен минералданған суға ауысу үлгісін зерттеу // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2022. 4 том, №4. 68–77 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108594>

Введение

Полимерное заводнение является одним из проверенных и испытанных методов химического повышения нефтеотдачи. Данный метод широко используется при третичной стадии разработки зрелых месторождений, но также может применяться после первичной стадии, минуя стадию заводнения просто водой. В настоящее время данный метод применяется в пластах как с лёгкой [1], так и тяжёлой нефтью [2], с использованием химических реагентов, способных выдерживать высокие температуры и минерализацию в течение длительного периода времени [3–5].

Принцип полимерного заводнения заключается в повышении вязкости закачиваемой воды путём добавления небольшого количества полимера в закачиваемую воду. Благодаря этому значительно повышается вязкость закачиваемой воды, что улучшает коэффициент охвата пласта и обеспечивает регулирование подвижности между водой и нефтью. По опыту более высокая вязкость даёт лучшие результаты охвата, но необходимо подбирать оптимальную вязкость индивидуально для каждого проекта и месторождения с учётом физических и геологических характеристик и, что немаловажно, с учётом экономики. Для достижения более высокой вязкости необходима более высокая концентрация полимера. Зависимость вязкости полимерного раствора от концентрации полимера в воде является возрастающей (обычно линейной) зависимостью, т.е. большее количество полимера обеспечивает более высокую вязкость.

Обычно на месторождениях широко используется пластовая вода, чаще всего попутно добываемая. Часто данная попутно добываемая пластовая вода характеризуется высокой минерализацией. В связи с этим для приготовления полимерного раствора заданной вязкости для закачки необходимо использовать большее количество полимера с соответственно большей концентрацией. Одним из способов уменьшения концентрации и экономии потребления полимера является использование более низкоминерализованной воды для приготовления полимерного раствора. Чем больше разница в минерализации между пластовой и низкоминерализованной водами, тем большего сокращения потребления полимера можно достичь (порой в не-

сколько раз), а экономия полимера может составлять сотни процентов. Конечно, не всегда доступна низкоминерализованная вода и не всегда её можно использовать для приготовления. Но когда есть возможность, стоит использовать более низкоминерализованную воду как один из способов сокращения потребления полимера, предварительно проведя необходимые лабораторные исследования.

В данной статье мы рассмотрим успешный реальный опыт снижения концентрации и сокращения общего потребления полимера на месторождении на проекте с использованием полимера и оборудования компании SNF. В первую очередь, в статье мы рассмотрим подбор полимера под условия данного проекта. Далее мы рассмотрим и сравним характеристики вязкости на высокоминерализованной пластовой и низкоминерализованной воде.

Выбор полимера

Выбор подходящего полимера состоит из анализа трёх основных параметров:

- температура пласта;
- проницаемость;
- солёность воды, которая используется для растворения полимера и закачки.

Для выбора полимеров важно знать температуру, которая способна сохраняться в процессе распространения в пласте. Проницаемость необходима для правильного подбора молекулярного веса в целях обеспечения хорошей приемистости во время закачки и хорошей проходимости сквозь поровые каналы. Последним, но не менее важным является состав воды, который нужен при рассмотрении различных типов реагентов и степени гидролиза полимеров для обеспечения несклеиваемости полимерных цепей в воде, а также увеличения вязкости.

Наиболее подходящий полимер для месторождения обычно выбирается в соответствии с различными параметрами:

- хорошая растворимость в воде;
- наивысшая вязкость при данной концентрации;
- хорошая стабильность со временем;
- экономические факторы.

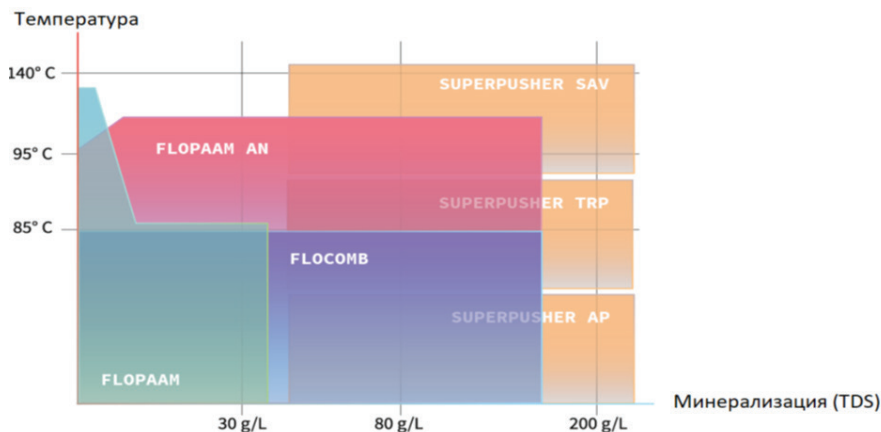


Рисунок 1. Диапазоны применения серии полимеров
Figure 1. Ranges of polymer series use

g/L – грамм на литр

Flopaam, Flopaam AN, Flocomb, Superpusher SAV, Superpusher TRP, Superpusher AP – марки полимеров фирмы SNF

На рис. 1 представлены линейки полимеров марки SNF для различных условий применения в зависимости от температуры и минерализации.

Главный подход, используемый в индустрии для определения вязкости, подходящей для закачки, диктуется уравнением отношения подвижностей:

$$M = \frac{\lambda_o}{\lambda_w} = \frac{\mu_o/k_o}{\mu_w/k_w} \quad (1)$$

где λ , μ и k – подвижность, вязкость и эффективная проницаемость соответственно, индексы w и o относятся к воде и нефти.

Когда $M > 1$, вытеснение считается неблагоприятным, с языками воды в нефти, и она добывается быстро в значительных пропорциях. Поэтому традиционный подход – снижение отношения подвижностей до 1 (и ниже) и увеличение вязкости закачиваемой жидкости с целью приближения к поршневому вытеснению. Однако даже когда отношение подвижностей положительное, наличие неоднородностей в пласте вредно для коэффициента охвата.

Итак, рациональная стратегия – закачивать достаточно высоковязкий раствор, когда это экономически и технически возможно, чтобы компенсировать проблемы отношения подвижностей и неоднородностей.

Заводнение с добавлением полимеров может быть разделено на два вида по классификации. Первый тип, когда отношение подвижности в течение заводнения

неблагоприятное, продолжительная закачка воды с добавлением полимеров может увеличить эффективный охват нефтяного пласта процессом заводнения на макрокопическом уровне и, следовательно, добиться более полного и эффективного вытеснения нефти. Второй тип, когда даже при благоприятном коэффициенте отношения подвижности (когда $M < 1$), если нефтяной пласт неоднородный, заводнение с добавлением полимеров может быть выполнено для уменьшения подвижности воды в высокопроницаемых зонах пластов для добычи дополнительной нефти из низкопроницаемых зон пластов.

Лабораторные исследования

Первоначально подбор полимера осуществлялся на высокоминерализованной попутно добываемой пластовой воде, которая использовалась для закачки в пласт при стандартном заводнении. Вода месторождения была синтезирована в лаборатории SNF по анализу состава воды.

Таблица 1. Состав попутно добываемой высокоминерализованной воды на 1000 г раствора

Table 1. Composition of produced highly mineralized water per 1000 g of solution

Компонент Component	Масса, г Weight, g
NaCl	61,426
CaCl ₂ ·H ₂ O	21,318
MgCl ₂ ·6H ₂ O	2,033
NaHCO ₃	0,277

Компонент Component	Масса, г Weight, g
Na ₂ SO ₄	0,819
TDS Ca ²⁺ + Mg ²⁺	6,040
TDS карбонаты	0,2
Общая минерализация (TDS)	79,570

TDS (Total Dissolved Solids) – общее количество всех растворенных в воде солей

Для условий данного месторождения и состава воды был подобран полимер марки FP 5115 VHM, являющийся полимером акриламида/акриламидо-третбутиловой сульфокислоты/акриловой кислоты со средней анионностью и высокой молекулярной массой, относится к серии FLOPAAМ AN, как наиболее оптимальный по общим характеристикам, вязкости и цене по сравнению с другими полимерами-кандидатами.

В процессе подбора для всех образцов-кандидатов был приготовлен маточный раствор с концентрацией 10000 ppm (1%), используя синтезированную воду, затем путём разбавления той же водой получали различные концентрации растворов. Далее были проведены реологические тесты при пластовой температуре месторождения, чтобы оценить вязкость как функцию зависимости от концентрации. Вязкость была измерена с помощью вискозиметра Brookfield с характеристикой шпинделя UL при 6 rpm (что эквивалентно коэффициенту сдвига 7,34 с⁻¹). Не было замечено образования комков или проблем с растворимостью.

Оптимальной концентрацией закачки с учётом условий месторождения была определена концентрация 1500 ppm, с возможностью закачек высоковязких оторочек с более высокой концентрацией.

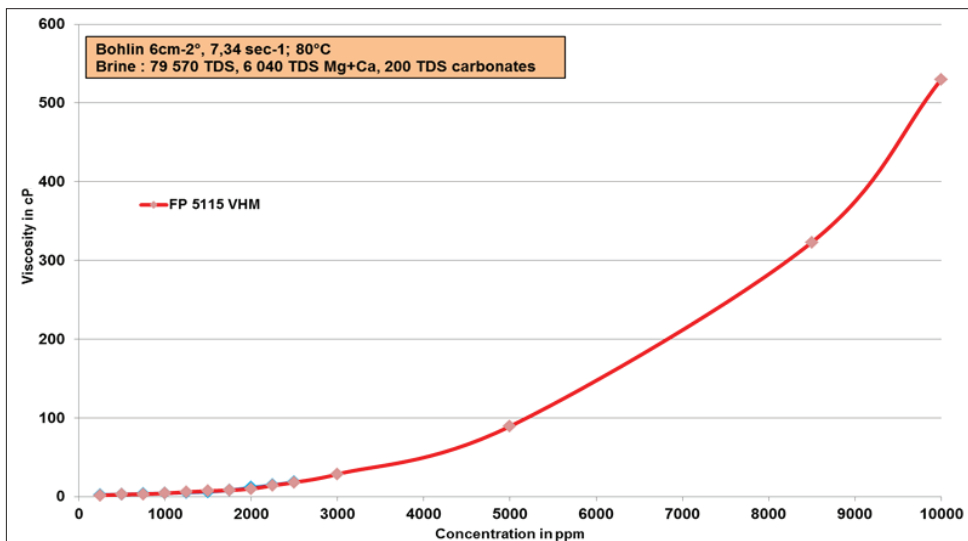


Рисунок 2. Зависимость вязкости от концентрации на высокоминерализованной воде (79 г/л)
Figure 2. Dependence of viscosity on concentration in highly mineralized water (79 g/l)

cP – сантипуазы

cm – сантиметры

sec – секунды

ppm – миллионная доля (частей на миллион, пропромилле)

Таблица 2. Значения вязкости от концентрации на высокоминерализованной воде (79 г/л)

Table 2. Dependence of Viscosity values on concentration in highly mineralized water (79 g/l)

Концентрация, ppm Concentration, ppm	Вязкость, cP Viscosity, cP	Концентрация, ppm Concentration, ppm	Вязкость, cP Viscosity, cP
500	2,5	3000	28,4
1000	4	5000	89,2
1500	7	8500	323
2000	9,75	10000	530
2500	18		

Применение воды с более низкой минерализацией

После запуска проекта на попутно добываемой пластовой воде в ходе закачки выяснилось, что на месторождении имеются источники более низкоминерализованной воды, используемые для различных нужд. Соответственно, возник интерес к использованию данной низкоминерализованной воды для приготовления полимерного раствора с целью сокращения потребления полимера, т.е. использованию более низкой концентрации для достижения той же вязкости.

Был получен состав воды, по которой в лаборатории была синтезирована вода для исследований. Также были проведены тесты на совместимость вод и пласта.

Таблица 3. Состав низкоминерализованной воды на 1000 г раствора
Table 3. Composition of low-mineralized water per 1000 g of solution

Компонент Component	Масса, г Weight, g
NaCl	0,469
KCl	0,005
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0,018
MgCl ₂ ·6H ₂ O	0,013
NaHCO ₃	0,467

Компонент Component	Масса, г Weight, g
Na ₂ CO ₃	0,016
Na ₂ SO ₄	0,550
TDS Ca ²⁺ + Mg ²⁺	0.007
TDS карбонаты	0,342
Общая минерализация (TDS)	1,526

Как видно из таблицы, минерализация воды намного ниже пластовой попутно добываемой, что предвещало значительное снижение концентрации полимера в растворе для достижения одинаковой вязкости при использовании попутно добываемой пластовой высокоминерализованной воды. Особенно важным является количество двухвалентных катионов (кальция и магния) в воде.

Лабораторные тесты полностью подтвердили совместимость новой воды с текущим полимером. Не наблюдалось каких-либо проблем с растворением либо образование комков. Лабораторные тесты подтвердили получение более высоких вязкостей при более низких концентрациях растворов полимера. Ниже представлены график и значения вязкости в зависимости от концентрации растворов полимера с низкоминерализованной водой.

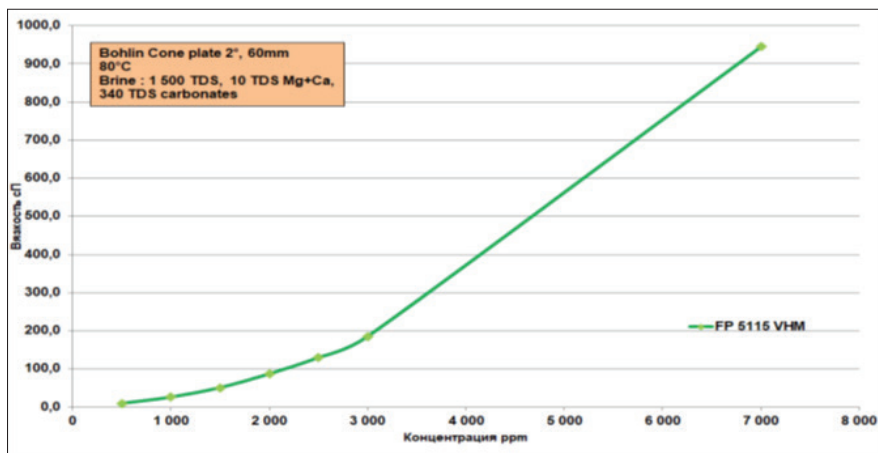


Рисунок 3. Зависимость вязкости от концентрации на низкоминерализованной воде (1,526 г/л)
Figure 3. Dependence of viscosity on concentration in low-salinity water (1.526 g/l)
min – минуты

Таблица 4. Значения вязкости на низкоминерализованной воде (1,526 г/л)
Table 4. Dependence of Viscosity values in low-mineralized water (1.526 g/l)

Концентрация, ppm Concentration, ppm	FP 5115 VHM	Концентрация, ppm Concentration, ppm	FP 5115 VHM
500	9,3	2 500	129,7
1 000	25,6	3 000	184,8
1 500	50,6	7 000	945,5
2 000	86,7		

На высокоминерализованной воде при концентрации 1500 ppm при использовании полимера FP 5115 VHM вязкость составляла 7 сП, тогда как при использовании низкоминерализованной воды при концентрации 500 ppm на том же полимере вязкость составляла 9,3 сП, что фактически составляет почти трёхкратную экономию полимера и достижение даже более высокой вязкости. Также стало возможным осуществлять закачку высоковязких оторочек при той же концентрации 1500 ppm. В

целом это привело к снижению количества используемого полимера и удешевлению затрат на реагенты при даже более высокой вязкости, а также меньшим затратам на создание высоковязких оторочек, которые потенциально дают увеличение эффективности охвата при неоднородностях пласта.

Ниже представлено наглядное сравнение зависимостей концентрации от вязкости на высоко- и низкоминерализованных водах месторождения.

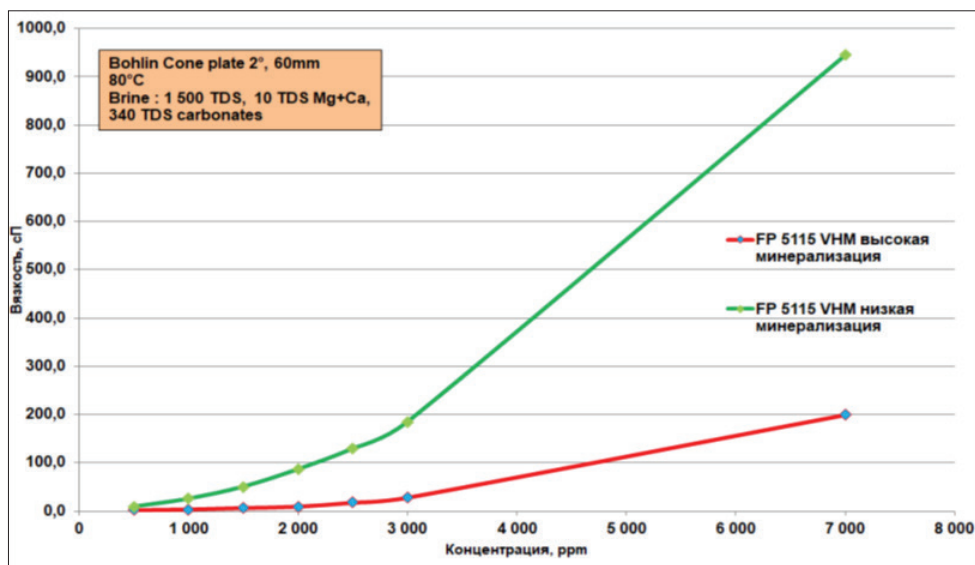


Рисунок 4. Сравнение зависимостей вязкости от концентрации на низко- и высокоминерализованных водах

Figure 4. Comparison of dependences of viscosity on concentration in low- and high-mineralized waters

Далее были проведены тесты, исследования и наблюдения по совместимости воды, полимера и пласта. Также было предложено несколько вариантов альтернативных полимеров. В итоге было решено остаться на данном типе полимера. Далее низкоминерализованная вода была использована для приготовления полимерного раствора взамен высокоминерализо-

ванной попутно добываемой пластовой воды. Это привело к снижению концентрации и, следовательно, общему потреблению сухого полимера. Дополнительным положительным эффектом было снижение нагрузки на оборудование и уменьшение отложений солей на трубах, клапанах и прочих элементах оборудования в долгосрочной перспективе.

Выводы

Работы и исследования, описанные в статье, помогли добиться сокращения потребления полимера в несколько раз.

Так, например, при применении низкоминерализованной воды достигается даже чуть более высокая вязкость на концентрации 500 ppm, по сравнению с концентрацией 1500 ppm на более высокоминерализованной воде. Таким образом, втрое сокращается расход полимера, что позволяет снизить общие затраты на полимеры, а также при необходимости закачивать более высоковязкие оторочки.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующий образом: Абилов Ж.Ж. – концепция исследования, сбор, анализ, интерпретация; Абилов Р. – редактирование, корректирование и оценка работы; Саюк Б. – сбор и надзор; Жиль Л. – надзор, внесение дополнений и корректировка; Дивер Т. – надзор.

Крайне актуально для снижения затрат рассматривать использование более низкоминерализованной воды для приготовления полимерного раствора при её доступности и возможности её использования. Результаты выше показали, что при использовании низкоминерализованной воды по сравнению с высокоминерализованной попутно добываемой водой, возможно многократное уменьшение потребления путём снижения концентрации при достижении той же вязкости или даже большей.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Zhandos Zh. Abirov – research concept, collection, analysis, interpretation; Rustem Abirov – editing, proofreading and evaluation of the work; Bertrand Sahuc – collection and supervision; Ludwig Gil – supervision, introduction of additions and proofreading; Thomas Divers – supervision.

REFERENCES

1. Wang D, Han P, Shao Zh, Weihong H and Seright, RS. Sweep Improvement Options for the Daqing Oil Field. *SPE Reservoir Evaluation and Engineering*. 2008;11(01):18–26. DOI: 10.2118/99441-PA.
2. Al-Saadi FS, Amri AB, Nofli S, Van Wunnik J, et al. Polymer Flooding in a Large Field in South Oman – Initial Results and Future Plans; 2012 16–18 April; Muscat, Oman. Paper Number: SPE-154665-MS.
3. Gaillard N, Giovannetti B, Favero C. Improved Oil Recovery using Thermally and Chemically Stable Compositions Based on Co and Ter-polymers Containing Acrylamide. *SPE Improved Oil Recovery Symposium*; 2010 April 24–28; Tulsa, Oklahoma, USA. Paper SPE 129756.
4. Vermolen ECM, Van Haasterecht MJT, Masalmeh SK, et al. Pushing the Envelope for Polymer Flooding Towards High-temperature and High-salinity Reservoirs with Polyacrylamide Based Ter-polymers. *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference*; 2011 September 25–28; Manama, Bahrain. Paper Number SPE 141497.

5. Thomas A. *Polymer Flooding, Chemical Enhanced Oil Recovery (cEOR) – a Practical Overview*. InTech. Dr. Laura Romero-Zerón, editor. 2016.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

***Абиров Жандос Жанибекович**

e-mail: *jandos.abirov@mail.ru*.

Абиров Рустем

e-mail: *rustabi@gmail.com*.

Бертран Саюк

e-mail: *office@snf-group.kz*.

Людвиг Жиль

e-mail: *office@snf-group.kz*.

Тома Дивер

e-mail: *office@snf-group.kz*.

AUTHORS' INFO

***Zhandos Z. Abirov**

e-mail: *jandos.abirov@mail.ru*.

Rustem Abirov

e-mail: *rustabi@gmail.com*.

Bertrand Sahuc

e-mail: *office@snf-group.kz*.

Ludwig Gil

e-mail: *office@snf-group.kz*.

Thomas Divers

e-mail: *office@snf-group.kz*

* Автор, ответственный за переписку/Corresponding author