

УДК 622.276.; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-6.11>

<https://orcid.org/0000-0001-7331-1633>

<https://orcid.org/0000-0002-0182-4330>

<https://orcid.org/0000-0002-8213-7128>

<https://orcid.org/0000-0003-1123-0445>

<https://orcid.org/0000-0003-0106-5431>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ПОЛИМЕРАМИ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК



**Г.Ж. МОЛДАБАЕВА<sup>1</sup>**,  
доктор технических наук,  
профессор,  
[g.moldabayeva@satbayev.university](mailto:g.moldabayeva@satbayev.university)



**А.Х. СЫЗДЫКОВ<sup>1</sup>**,  
кандидат технических наук,  
PhD, профессор,  
[a.syzdykov@satbayev.university](mailto:a.syzdykov@satbayev.university)



**К.Т. БИСЕМБАЕВА<sup>2</sup>**,  
кандидат технических наук,  
доцент,  
[karlygasha\\_bissemb74@mail.ru](mailto:karlygasha_bissemb74@mail.ru)



**А.С. ХАДИЕВА<sup>2</sup>**,  
PhD докторант,  
[hadieva\\_albina@mail.ru](mailto:hadieva_albina@mail.ru)



**Г.С. САБЫРБАЕВА<sup>2</sup>**,  
кандидат технических наук,  
доцент,  
[gulzhans-a@mail.ru](mailto:gulzhans-a@mail.ru)

<sup>1</sup>SATBAYEV UNIVERSITY,  
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22-а

<sup>2</sup>КАСПИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНЖИНИРИНГА ИМ. Ш. ЕСЕНОВА,  
Республика Казахстан, 130000, г. Актау, мкр. 32 а

В настоящее время разрабатывается большое количество месторождений с высоковязкой нефтью. Повышение степени извлечения нефти из недр разрабатываемых месторождений с применением эффективных методов активного воздействия является важной научно-технической задачей для работников нефтедобывающих предприятий. Одним из максимально эффективных и перспективных методов стабилизации добычи нефти являются физико-химические технологии, основанные на применении закачки полимерных композиций. Поэтому авторы статьи преследуют цель – исследовать эффективность применения полимерных композиций для дальнейшей рекомендации к использованию на месторождениях с высоковязкими нефтями и пластами, содержащими трудноизвлекаемые запасы.

Приводится анализ результатов проведенного исследования полимеров, а именно GL-50 и R-1 на образцах породы различной глубины скважин. В связи с этим был проведен эксперимент по вытеснению нефти различными вытесняющими реагентами. Во время эксперимента по вытеснению нефти различными вытесняющими реагентами были определены водонасыщенность образца и эффективность вытеснения. Особое внимание уделяется скорости продвижения потока полимеров и распространение молекул через поры разных диаметров. Основной целью данного эксперимента было определение более эффективного полимера для повышения нефтеотдачи пласта. Приводится сравнение коэффициентов вытеснения нефти на этапах закачки полимеров. В ходе исследования получены результаты определения коэффициентов вытеснения полимерами марки GL-50 и R-1. Из полученных результатов можно полагать, что марки полимеров имеют значительное влияние на степень эффективности процесса вытеснения нефти.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** эффективность, вытеснение, скорость, коэффициент вытеснения, нефть, химические реагенты, раствор, фактор сопротивления, полимер.

## МҰНАЙДЫ ӨРТҮРЛІ МАРКАЛЫ ПОЛИМЕРЛЕРМЕН ЫҒЫСТЫРУ ПРОЦЕСІНІҢ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

**Г.Ж. МОЛДАБАЕВА**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының докторы, SU профессор,  
[g.moldabayeva@satbayev.university](mailto:g.moldabayeva@satbayev.university)

**А.Х. СЫЗДЫКОВ**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, PhD, профессор,  
[a.syzdykov@satbayev.university](mailto:a.syzdykov@satbayev.university)

**К.Т. БИСЕМБАЕВА**<sup>2</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, доцент,  
[karlygasha\\_bissemb74@mail.ru](mailto:karlygasha_bissemb74@mail.ru)

**А.С. ХАДИЕВА**<sup>2</sup>, PhD докторанты, [hadiyeva\\_albina@mail.ru](mailto:hadiyeva_albina@mail.ru)

**Г.С. САБЫРБАЕВА**<sup>2</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, [gulzhans-a@mail.ru](mailto:gulzhans-a@mail.ru)

<sup>1</sup>SATBAYEV UNIVERSITY,  
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ., Сәтпаев к-сі 22-а

<sup>2</sup>Ш. ЕСЕНОВ АТЫНДАҒЫ КАСПИЙ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЖӘНЕ ИНЖИНИРИГ УНИВЕРСИТЕТІ,  
Қазақстан Республикасы, Актау қ., 130000, 32 а шағын аудан

Қазіргі уақытта тұтқырлығы жоғары мұнайы бар көптеген кен орындары игерілуде. Белсенді әсер етудің тиімді әдістерін қолдана отырып, игерілетін кен орындарының жер қойнауынан мұнай алу дәрежесін арттыру, мұнай өндіруші кәсіпорындардың қызметкерлері үшін маңызды ғылыми-техникалық міндет болып табылады. Мұнай өндіруді тұрақтандырудың ең тиімді және белсенді әдістерінің бірі полимерлі композицияларды айдау үшін, қол-

дануға негізделген физика-химиялық технологиялар болып табылады. Сондықтан, мақала авторлары полимерлі композицияларды қолданудың тиімділігін зерттеуді мақсат етіп, әрі қарай тұтқырлығы жоғары мұнайлары бар кен орындарында және өндіруге қиын қорлары бар қабаттарда қолдануға кеңес береді. Мақалада полимерлерді атап айтқандай, ұңғымалардың әртүрлі тереңдігіндегі тау жыныстарының үлгілеріндегі GL-50 және R-1 зерттеу нәтижелеріне талдау жасалынды. Осыған байланысты мұнайды әртүрлі ығыстырғыш реагенттермен ығыстыру бойынша эксперимент жүргізілді. Мұнайды ығыстыру тәжірибесіндегі әртүрлі ығыстырғыш реагенттерімен су қанықтылығы және үлгінің тиімділігін анықтады. Полимерлер ағынының жылдамдығына және әртүрлі диаметрлі кеуектер арқылы молекулалардың таралуына ерекше назар аударылады. Бұл тәжірибенің негізгі мақсаты - мұнай өнімділігін арттыру үшін тиімді полимерді анықтау болып табылады. Полимерлерді айдау кезеңдеріндегі мұнайдың ығыстыру көрсеткіштерін салыстыру келтірілген. Зерттеу барысында GL-50 және R-1 маркалы полимерлердің ығыстыру коэффициенттерін анықтау нәтижелері көрсетілді. Алынған нәтижелерден полимерлердің маркалары мұнайды ығыстыру процесінің тиімділік дәрежесіне айтарлықтай әсер етеді деп айтуға болады.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** тиімділік, ығыстыру, жылдамдық, ығыстыру көрсеткіші, мұнай, химиялық реагенттер, ерімінді, кедергі факторы, полимер.

## STUDY OF THE EFFICIENCY OF OIL DISPLACEMENT PROCESS BY POLYMERS OF DIFFERENT GRADES

**G.Zh. MOLDA BAYEVA**<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
g.moldabayeva@satbayev.university

**A.Kh. SYZDYKOV**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, PhD, Professor,  
a.syzdykov@satbayev.university

**K.T. BISSEMBAYEVA**<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences, associate professor,  
karlygasha\_bissemb74@mail.ru

**A.S. KHADIYEVA**<sup>2</sup>, Phd Doctoral Student, hadieva\_albina@mail.ru

**G.S. SABYRBAYEVA**<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences, associate professor, gulzhans-a@mail.ru

<sup>1</sup>SATBAYEV UNIVERSITY,  
22/5, Satpayev str., Almaty, 050000, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>CASPIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ENGINEERING  
NAMED AFTER SH. YESSENOVA,  
32 a neighborhood, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan

Currently, a large number of fields with high-viscosity oil are being developed. Increasing the degree of oil recovery from the subsoil of developed fields using effective methods of active influence is an important scientific and technical task for employees of oil producing enterprises. One of the most effective and promising methods for stabilizing oil production is physical and chemical technologies based on the injection of polymer compositions. Therefore, the authors of the article pursue the goal - to investigate the effectiveness of the use of polymer compositions for further recommendation for use in fields with high-viscosity oils and formations containing hard-to-recover reserves. The article provides an analysis of the results of the study of polymers, namely GL-50 and R-1 on rock samples of various well depths. In this regard, an experiment was carried out to displace oil with various displacing reagents. During the oil displacement experiment with various displacement reagents, the water saturation of the sample and the displacement efficiency were determined. Particular attention is paid to the rate of advancement of the flow of polymers and the propagation of molecules through pores of different diameters. The main goal of this experiment was to determine a more effective polymer for enhanced oil recovery. Comparison of oil displacement efficiency at the stages of polymer injection is given. In the course of the study, the results of determining the

*displacement coefficients of GL-50 and R-1 polymers were obtained. From the results obtained, it can be assumed that polymer grades have a significant impact on the degree of efficiency of the oil displacement process.*

**KEY WORDS:** efficiency, displacement, speed, displacement ratio, oil, chemicals, solution, drag factor, polymer.

**В**ведение. Во всем мире известно много активных технологий разработки как стран ближнего, так и дальнего зарубежья. Тем не менее открытие новых и разработка действующих месторождений позволили выявить ряд дополнительных геолого-физико-технологических факторов. К ним относятся оптимальное и минимальное давления нагнетания для пластов с разными фильтрационными свойствами, периодичность изменения давления на устьях в нагнетательных и на забоях добывающих скважин. Недостаточно полное их исследование приводило к снижению эффективности процессов выработки трудноизвлекаемых запасов [1].

Наиболее важными факторами, оказывающими влияние на эффективность разработки нефтяных месторождений, являются отношение подвижностей нефти и воды в пластовых условиях и неоднородность пласта по проницаемости [2]. С увеличением вязкости нефти коэффициент нефтеотдачи резко снижается. Неоднородность пористой среды усугубляет неравномерность продвижения фронта вытеснения. В сильно неоднородных по проницаемости пластах, вытеснение даже маловязкой нефти приводит к преждевременному прорыву вытесняющего агента по наиболее проницаемым зонам пласта [2]. Вытеснение высоковязкой нефти сопровождается вязкостной неустойчивостью, которая устанавливается и в однородных пластах. В реальных природных пластах с нефтью малой вязкости неоднородность коллекторских свойств может оказаться первой причиной неравномерного продвижения нефти и воды.

Повышению эффективности системы заводнения может способствовать применение методов физико-химического воздействия на продуктивные пласты [2].

Ученые разных стран занимаются работой, связанной с использованием химических реагентов, в том числе закачки полимеров для повышения нефтеотдачи пластов. По статистике 77 % химических методов повышения нефтеотдачи пластов относится к полимерному заводнению и 23 % полимерному в сочетании с поверхностно-активными веществами [3]. Добавление водорастворимых полимеров увеличивает вязкость воды. Улучшается контроль мобильности и в то же время уменьшается относительная проницаемость воды по сравнению с нефтью [3].

Полимеры добавляют в воду для уменьшения ее подвижности. Использование полимеров дает возможность в значительной степени снизить проницаемость в водной фазе. Выравнивается фронт вытеснения нефти водой и продлевается безводный период эксплуатации скважин. В конечном итоге увеличивается полнота извлечения нефти из пласта [3].

Закачивание полимера осуществляется при высокой температуре. Выбор правильного полимера (или защитных добавок) является основным фактором для обеспечения успешности применения технологии полимерного заводнения в долгосрочной перспективе. Первый шаг – определение целевого уровня вязкости жидкости,

которая должна быть закачана в пласт. После этого осуществляется выбор наиболее подходящего полимера с учетом главных параметров:

- температуры пласта;
- минерализации закачиваемой воды;
- проницаемости пласта.

Существуют основные два вида полимеров. К первому виду относятся синтетические полимеры, такие как гидролизованные полиакриламиды. Вторым видом – биополимеры.

Полимеры, обладающие эффективными качествами должны иметь в составе:

- углеродную цепь;
- отрицательную ионную гидрофильную группу (для уменьшения адсорбции на поверхности породы);
- неионогенную гидрофильную группу (для химической стабильности) [4].

Существуют отдельные группы полимеров, которые применяют для разных характеристик заводнения:

- анионный полиакриламид (до 75 – 80 °С при низкой минерализации);
- сульфированный со- и тер-полимер (до 100 °С);
- ассоциированный полимер (для более высоких значений вязкости и допуска по минерализации, до 75 °С);
- серия Flocomb (полимеры со стойкостью к повышенной минерализации);
- F3P – блок полимеров с защитой (до 120 °С с O<sub>2</sub>, Fe и H<sub>2</sub>S).

Каждая группа полимеров делится на подгруппы, отличающиеся по молекулярной массе, ионогенности, термостабильности, вязкости.

В группу водорастворимых полимеров для повышения нефтеотдачи пластов относятся: полиакриламид (ПАА), порошкообразный ПАА иностранного производства (с марками CS5, CS6, CS30, MC3A, DK-Drill, Polidia, DKS-ORP, Sedipur), карбоксиметилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза, полиэтиленоксид, модифицированная метилцеллюлоза [5].

Полимер – многофункциональное вещество с различными свойствами параметров. По всему миру изучаются свойства полимеров в различных условиях и в различной среде. Один из таких актуальных вопросов – удержание полимера в пористой среде. Для того, чтобы успешно и эффективно применять полимер, нужно смоделировать свойства полимера с пластом, где должны учитываться такие характеристики как, температура, вязкость, адсорбция и удержание.

Исследование процесса полимерного воздействия было изучено учеными: B.N. Koilybayev, A.S. Strekov, P. Z. Mammadov, Sandeep Rellegadla, Ganshyam Prajapat, Akhil Agrawal, Chen Z., Choi B.I., Park K.H., Choi J.S., Lee K.S., F. R. Wassmuth, W. Arnold, K. Gree, N. Cameron, Maghzi A., Liu Chaoxia, Wang Qiang, Xingcai Wu, Ying Xiong, Ying Wu, Al-Shalabi E.W., Levitt D., Pope G.A., Seright R.S., Campbell A.R., Mozley P.S., Han P. и др.

Изучение различных материалов по вопросу удержания полимера оказалось очень сложным. Для удержания полимера надо обратить внимание на несколько факторов: концентрацию, поток полимера, скорость полимера, проницаемость по-



род. Факторы, которые напрямую влияют на концентрацию полимеров – скорость потока, удержание полимерных молекул и проницаемость.

Процесс полимерного заводнения является эффективной технологией. Однако, при задержке полимера значительно снижается эффективность вытеснения нефти, поэтому полимер сохраняется в пористых средах. В процессе удержания полимера выполняются основные три этапа: к первому действию относится физическая адсорбция на поверхности пор [6–9].

Ко второму действию относится механический захват, где молекулы полимера входят в поры с малым диаметром, а на выходе по сравнению с предыдущим размером изменяются. Из этих пор могут протекать молекулы воды и соли, но с большими размерами молекул полимеров не могут пройти, поэтому накапливаются друг на друга в этих порах [10].

К третьему действию относится гидродинамическое удержание. Гидродинамическое удержание описывает локальную скорость полимера. Достижение равновесия потока показывает потери полимеров в пористой среде [11].

Существуют несколько вариантов того, что молекулы полимеров могут повлиять на размер пор и могут воздействовать на сопротивление потока [12–14].

Gogarty, W.B. рассмотрел вид полимера, который относится к категории жидкости. В кратком объеме можно изложить некоторые параметры, которые имеют значимость для вязкости полимера. Например, скорость сдвига при полимере тоже имеет определенную значимость, потому что, связана с коэффициентом потока [9]. Можно добавить, что  $pH$  не влияет на вязкость полимера, но влияет на гидролиз молекулы. Известно, что при увеличении температуры степень вязкости уменьшается. Этот процесс объясняется тем, что рост температуры влияет на активные молекулы полимера. Это значит, что трение между молекулами снижается, поэтому сопротивление потока уменьшается и вязкость снижается. Если энергия активности полимера будет увеличиваться, тогда вязкость пропорциональная температуре будет изменяться.

Отечественный и зарубежный опыт разработки нефтяных месторождений показывает, что одним из наиболее широко распространенных методов повышения нефтеотдачи, является полимерное заводнение с использованием водорастворимых полимеров. Механизм полимерного заводнения основан на снижении подвижности закачиваемой воды в виде загущенных полимерных растворов. Происходит частичная адсорбция полимера на породе. Создается остаточный фактор сопротивления. Выравнивается фронт продвижения закачиваемой воды по площади заводнения и вертикальному разрезу продуктивного пласта.

Полимерные растворы должны обладать благоприятными реологическими и нефтевытесняющими характеристиками. Также должны иметь стабильность показателей и другие положительные свойства [15].

Процесс вытеснения нефти из неоднородного пласта может быть улучшен путем применения водорастворимых полимеров достаточно высокого молекулярного веса. Небольшие добавки таких полимеров резко снижают подвижность воды. Вытеснение нефти высоковязкими вытесняющими агентами приводит к гашению вязкостной неустойчивости и выравниванию фронта вытеснения в неоднородных

пластах. Это позволяет повысить охват пласта заводнением и в конечном счете нефтеотдачу месторождения [2].

При рассмотрении различных материалов, можно сказать, что размер пор в прямую связано с удержанием полимера и распространением одновременно в пористой среде. Возникает вопрос «почему размеры пор влияет на молекул полимеров?», оказывается если молекулы полимеров по размеру не соответствует размерам пор, этот момент уменьшает скорость процесса. При задержке распространения полимеров замедляется вытеснение нефти. Уровень удержания полимера, используемый в процессе должен придерживаться степени концентрации, величины диапазонов и плотности пород. Недоступный объем пор может ускорять поток полимера, потому что большие молекулы полимера не могут проникать на все поры поверхности.

Многие исследования показали, что полимерные молекулы движутся на высокой скорости. При удержании полимера образуются недоступные поры, где распространение полимера в пласт ускоряется и снижается эффективность процесса. Особенно, если поры заполнены водой.

В лабораторных условиях удержание полимера определяется с использованием статического и динамического метода. Статический метод подразумевает смешение известной массы полимера с известной массой размельченной породы или песчаника коллектора. Этому методу присущ ряд очевидных ограничений. Во-первых, он позволяет определить только физическую адсорбцию, поведение в пласте не учитывается. Во-вторых, площадь адсорбции гораздо больше для свободных частиц песка, нежели для консолидированной породы коллектора, что значительно повышает адсорбцию. В-третьих, полимер может прилипнуть к сосуду, используемому для испытания. Это способствует искажению значений концентрации в жидкости, определяемых на основе материального баланса.

Предпочтительным способом количественного определения удержания полимера является динамический метод. Он состоит в закачивании двух фронтов полимерного раствора, которые разделяются оторочкой рассола. Для определения недоступного порового объема можно добавлять индикатор и проводить сравнение времени до прорыва индикатора (например, йодида калия, детектируемого с помощью УФ-спектрофотометра) и полимера. Удержание полимера можно определить путем построения профилей концентрации или вязкости растворов относительно закачанного порового объема.

Эффективность вытеснения нефти растворами полимеров в значительной степени определяется теми свойствами, которые они проявляют при фильтрации в пористой среде, в частности их реологическими характеристиками.

Отличительные особенности поведения полимерных растворов в пористой среде обусловлены упруго-вязкими свойствами, адсорбцией и механическим улавливанием полимера. Это влияет на изменение реологических характеристик полимерных растворов. Также это способствует появлению фактора сопротивления и остаточного фактора сопротивления.

Не всегда более вязкие полимерные растворы с одинаковой концентрацией имеют лучшие фильтрационные свойства. Это объясняется тем, что полимеры с разными молекулярными характеристиками обладают разной адсорбцией и способностью к механическому улавливанию [15].

**Материалы и методы исследований.** В лабораторных условиях проводились исследования полимеров марки GL-50 и R-1 на образцах с глубины 772 и 772,55 м с минерализацией 108 г/л, где размеры, объем пор и марки полимеров разные.

Полимеры были отобраны в результате проведения физико-химических исследований по растворимости и реологическим характеристикам. Эти полимеры подвергали фильтрационным исследованиям на модельных кернах. Целью данных испытаний являлась сравнительная оценка основных технологических свойств полимерных растворов в пористой среде. Определялся диапазон рабочих концентраций полимера с целью выдачи рекомендаций для проведения исследований на естественных кернах и пластовых флюидах при температурном режиме, реализуемом на месторождении.

Основными определяемыми технологическими параметрами являются: фильтруемость, фактор сопротивления, остаточный фактор сопротивления для исходных полимеров. В экспериментах оценено влияние температуры, концентрации полимеров в растворах на изменение фактора и остаточного фактора сопротивления. Исследована реология полимерных растворов в пористой среде.

Указанные технологические свойства полимерных растворов оценивали в фильтрационных экспериментах на насыпных моделях керна с проницаемостями, близкими к пластовым выбранного участка рассматриваемого месторождения Каламкас.

При закачке раствора полимера в узлах насосов и ближней призабойной зоне пласта имеет место механическая деструкция. В связи с этим фильтрационные исследования проводили на исходных и деструктурированных растворах полимеров.

Исследуемые образцы полимеров прокачивали через модель керна при скорости 25 мл/час. Замеряли подвижности на входном и основном участках керна. Далее рассчитывали значения факторов сопротивления R. Затем через керн прокачивали воду с замером подвижностей и рассчитывали остаточный фактор сопротивления R<sub>ост.очн.</sub>

Результаты экспериментов приведены в *таблице 1*.

**Таблица 1 – Характеристика полимеров**

Показатели		
	GL-50	R-1
Марка полимера		
Концентрация в растворе, г/л	2,42	2,9
Температура эксперимента, °С	40	40
Фактор сопротивления на входном участке («R <sub>ев</sub> ») ист	298	44
Фактор сопротивления на основном участке (r <sub>пгв</sub> ) Исх	275	25
Остаточный фактор сопротивления (R <sub>ост.очн.</sub> ) исх	23	19
Фактор сопротивления на входном участке «R <sub>ех</sub> » дестр	250	57
Остаточный фактор сопротивления (R <sub>ост.очн.</sub> ) дестр	241	51
Фильтруемость	Хор.	Хор.



Была изучена совместимость полимеров с закачиваемой водой. Физико-химический состав вод, растворов полимеров, а также наличие в воде примесей оказывают существенное влияние на технологические свойства растворов полимеров, прежде всего на растворимость полимеров, деструкционное поведение, вязкостные, вязкоупругие и фильтрационные характеристики полимерных растворов.

Основными физико-химическими показателями вод, используемых в качестве растворителей полиакриламид, являются следующие параметры: плотность, общая минерализация, шестикомпонентный состав, эквивалентное соотношение щелочных и щелочно-земельных катионов, величина рН, содержание растворенного кислорода, концентрация двух и трехвалентного железа, и концентрация сульфид-иона.

На исследуемом участке месторождения Каламкас под полимерное заводнение закачиваемые воды содержат компоненты, которые могут влиять на свойства растворов полимеров. В *таблице 2* представлен состав закачиваемых вод на участках нагнетательных скважин №5 и №6.

**Таблица 2 – Состав закачиваемых вод на участках скважин №5 и №6 месторождения Каламкас**

Показатели	Состав воды	
	Скважина 5	Скважина 6
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1075	1073
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> , г/л	0,107	0,152
СL, г/л	72,745	67,475
Ca <sup>2+</sup> , г/л	3,625	3,627
Mg <sup>2+</sup> , г/л	2,186	2,043
Na, K, г/л	36,031	36,141
Fe <sup>2+</sup> (мг/л)	1,77	1,15
Fe <sup>3+</sup> (мг/л)	40,68	27,42
S <sup>2-</sup>	0	0
Минерализация, г/л	108	108

Из *таблицы 2* видно, что в составе закачиваемых вод концентрация двухвалентного железа составляет менее 2,0 мг/л. Трехвалентное железо содержится 27 и 41 мг/л, что может повлиять на свойства растворов выбранных полимеров. В связи с этим были проведены исследования по совместимости выбранных полимеров с закачиваемой водой.

С этой целью готовили растворы полимеров с концентрацией 1,5 г/л на закачиваемой воде. Растворы наливали в баночки, плотно закрывали крышкой и выдерживали в течение недели при температурах 20 °С и 40 °С. Контроль за изменением свойств раствора проводили по визуальной оценке и изменению вязкости раствора. Вязкость раствора измеряли с помощью вискозиметра Брукфильда. Наблюдения показали, что растворы полимеров при температуре 20 °С не меняли своих харак-

теристик в течение всего срока наблюдений. При температуре 40 °С в растворе полимера марки R-1 изменений не происходило. А в растворе полимера марки GL-50 имело место образование агрегатов в виде флоккул белого цвета, не выпадающих в осадок и легко разрушающихся при перемешивании. Изменение вязкости раствора при этом не происходило. Образование флоккул объясняется процессами адсорбции на поверхности частиц трехвалентного железа и образовании за счет механической связи мостиков между отдельными группами частиц.

Таким образом, исследования показали, что растворы полимеров марок GL-50 и R-1 на закачиваемых водах месторождения Каламкас достаточно стабильны. Образование легко разрушающихся при перемешивании флоккул не приведет к забивке пласта в призабойной зоне скважины.

На каждом определенном объеме, кратному объему пор, определялась водонасыщенность образца и эффективность вытеснения.

Во время проведения эксперимента использовались флюиды по физико-химическим свойствам, близкие к реальным пластовым флюидам.

Цель проведения данных экспериментов – определение более эффективного полимера для повышения извлечения углеводородов из пласта. Данные по свойствам полимеров представлены в *таблице 3*.

**Таблица 3 – Свойства полимеров**

Полимер	GL-50	R-1
Концентрация полимера, мг/л	2420	2900
Вязкость полимера мПа·с (40 °С)	156	24

Полимеры марки «GL-50» при исследуемых концентрациях обладают высокими вязкостными свойствами для загущения воды и проявляют хорошие свойства по термостабильности; плохо растворяются в минерализованной воде, также имеют не растворенные мелкие черные частицы в растворе; количественно превышают технические нормы по содержанию нерастворимого осадка в воде. Поэтому требуется дополнительные исследования по подбору оптимальной концентрации и состава.

Следующий вид полимера марки «R-1» применяется как отдельно, так и совместно со сшивающими агентами. Полимер марки «R-1», хорошо зарекомендовавший себя на рынке полимеров компания «SNF», позволяет эффективно повысить охват пласта и вытеснения, снижается обводненность продукции, устанавливается высокая молекулярная масса со средней плотностью анионного заряда. Полимер проявляет хорошие свойства по реологическим характеристикам и обладает устойчивостью к термо деструкции, хорошо растворяется в минерализованной воде, содержание нерастворимого осадка соответствует техническим нормам и может быть эффективным в воде, в присутствии достаточного количество двухвалентных катионов (кальция и магния). Чем выше концентрация двухвалентных катионов (кальция и магния), тем выше скорость осаждения полимера, что приводит к понижению вязкости.

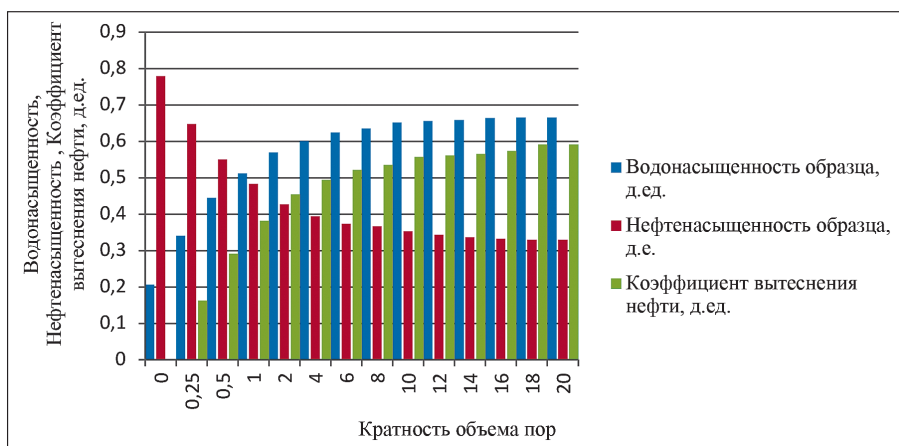
Экспериментальные исследования были проведены на установке LXRT-400T производства Core Lab Instruments. Далее образец помещался в аппарат Дина-Страка, для определения водонасыщенности и сравнения результатов.

В таблице 4 приведена характеристика полимеров.

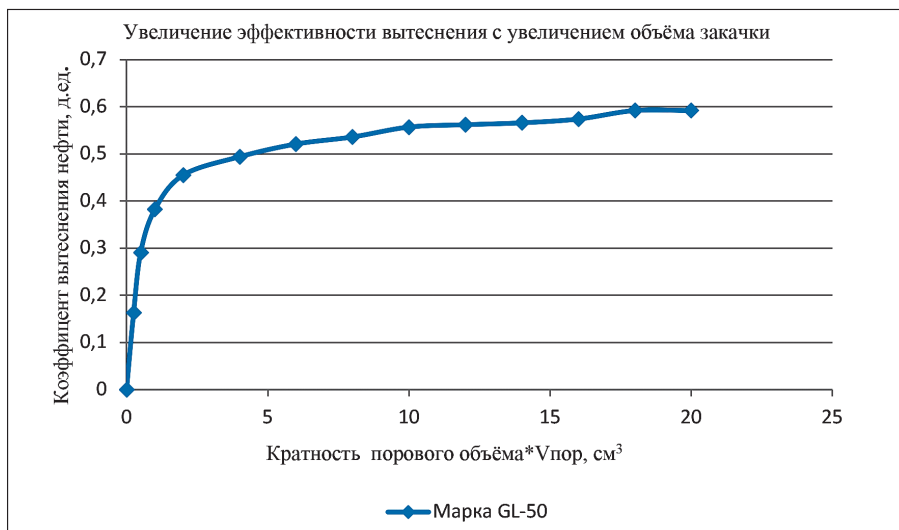
**Таблица 4 – Характеристика полимеров**

Полимер	GL-50	R-1
Молекулярная масса полимера, г/л	2,420	2,900
PDI	1,15	1,22

**Результаты и обсуждения.** Результаты экспериментов по закачке полимера марки GL-50 представлены на рисунках 1– 4.



**Рисунок 1 – Результаты определения коэффициента вытеснения с полимером марки GL-50**



**Рисунок 2 – Увеличение эффективности вытеснения с увеличением объема закачки**

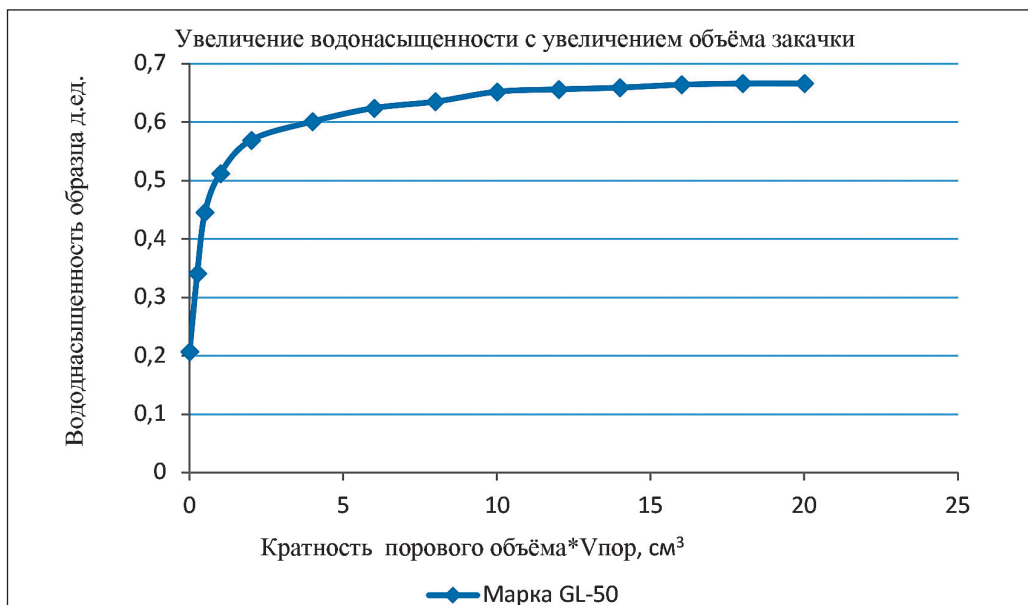


Рисунок 3 – Увеличение водонасыщенности с увеличением объема закачки

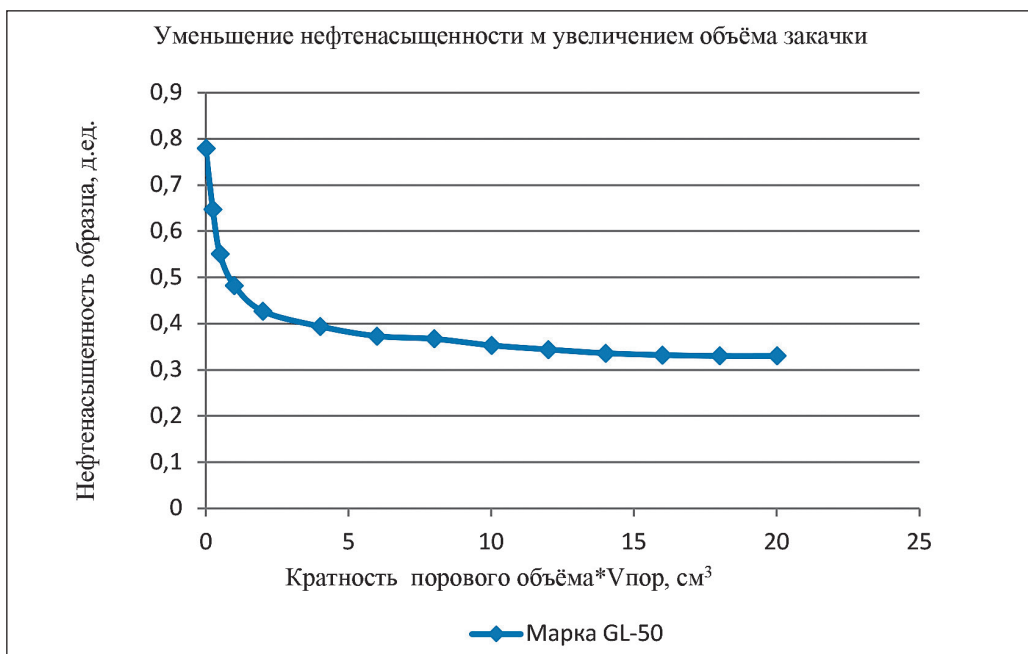


Рисунок 4 – Уменьшение нефтенасыщенности с увеличением объема закачки

Результаты экспериментов по закачке полимера марки R-1 представлены на рисунках 5–8.

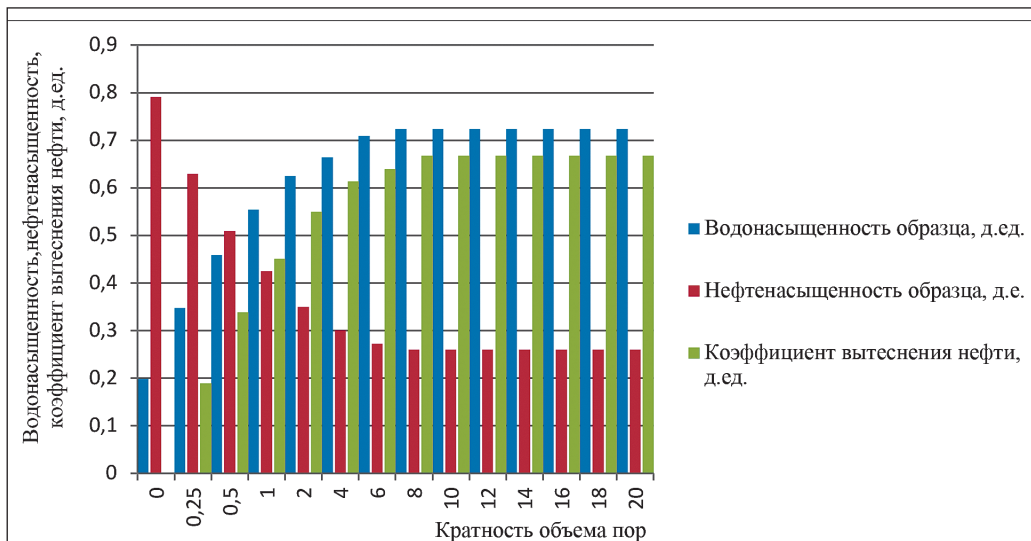


Рисунок 5 – Результаты определения коэффициента вытеснения с полимером марки R-1

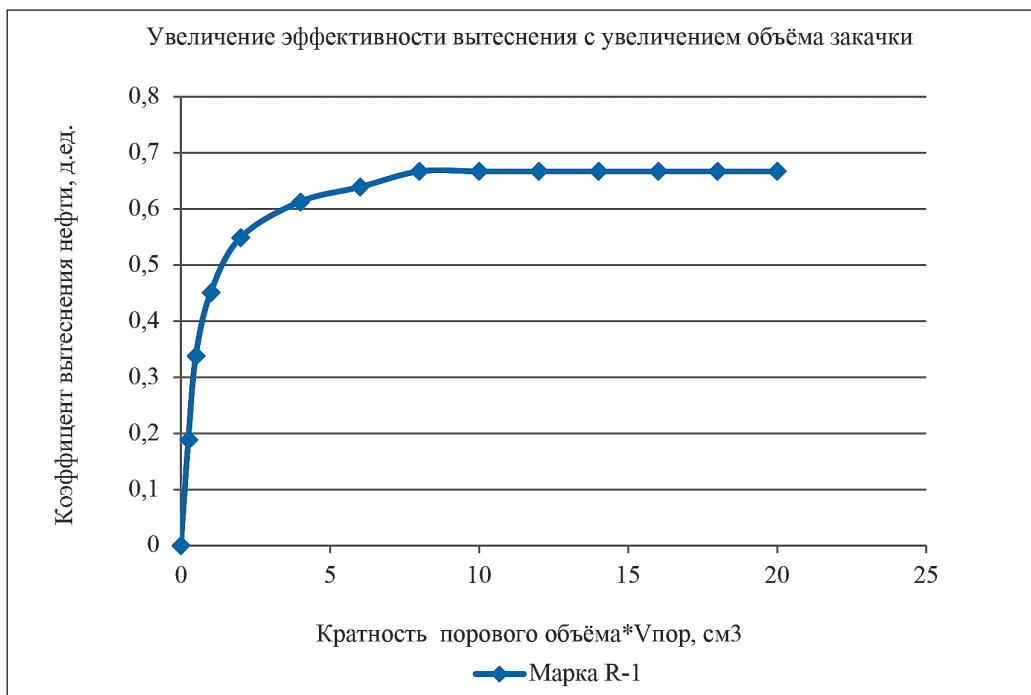


Рисунок 6 – Увеличение эффективности вытеснения с увеличением объема закачки



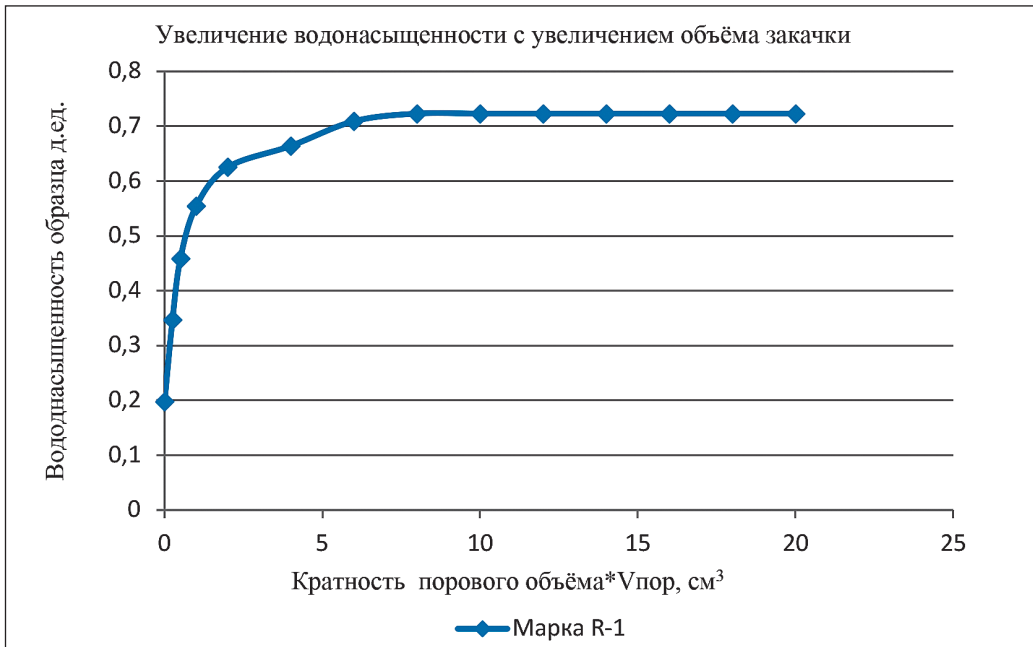


Рисунок 7 – Увеличение водонасыщенности с увеличением объема закачки

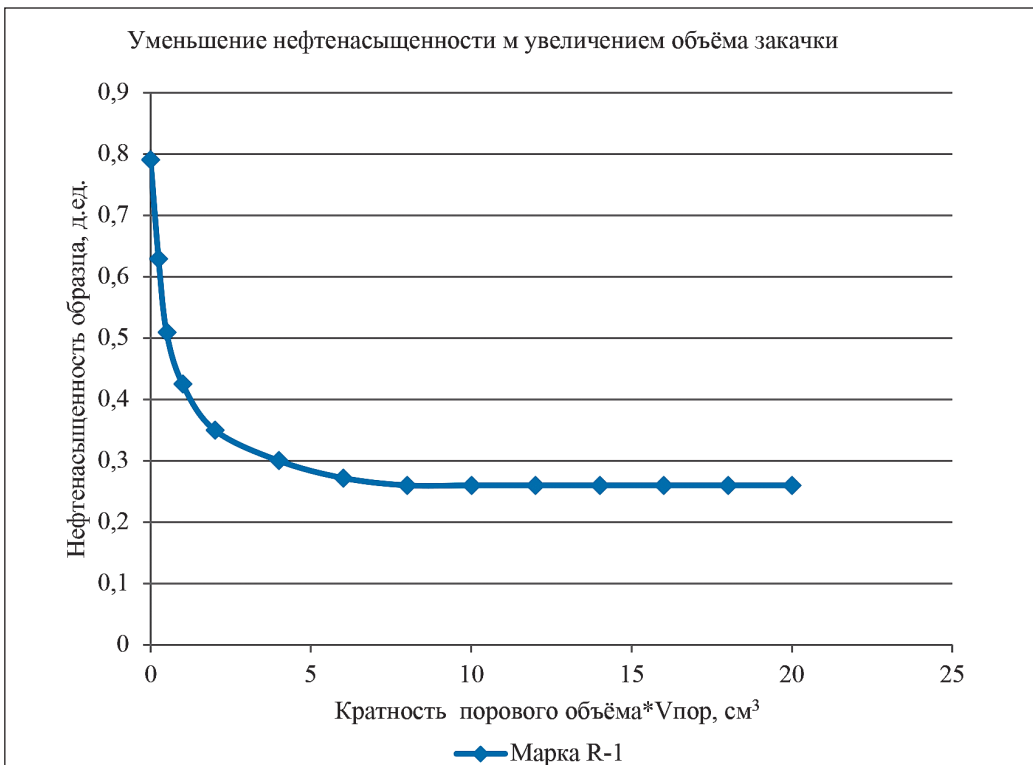


Рисунок 8 – Уменьшение нефтенасыщенности с увеличением объема закачки

Результаты исследования полимеров, закачиваемых в пласт, представлены в таблице 5 и на рисунке 9.

Таблица 5 – Результаты исследования

Полимер	GL-50	R-1
Концентрация полимера, мг/л	2420	2900
Вязкость полимера мПа·с (40°)	156	24
Номер образца керна	1	2
Проницаемость по газу, $\times 10^{-3}$ мкм <sup>2</sup>	901,10	884,30
Пористость по гелию, д.ед.	0,301	0,314
Вязкость полимера перед закачкой мПа·с	156	24
Вязкость полимера после закачки мПа·с	34,2	15,2

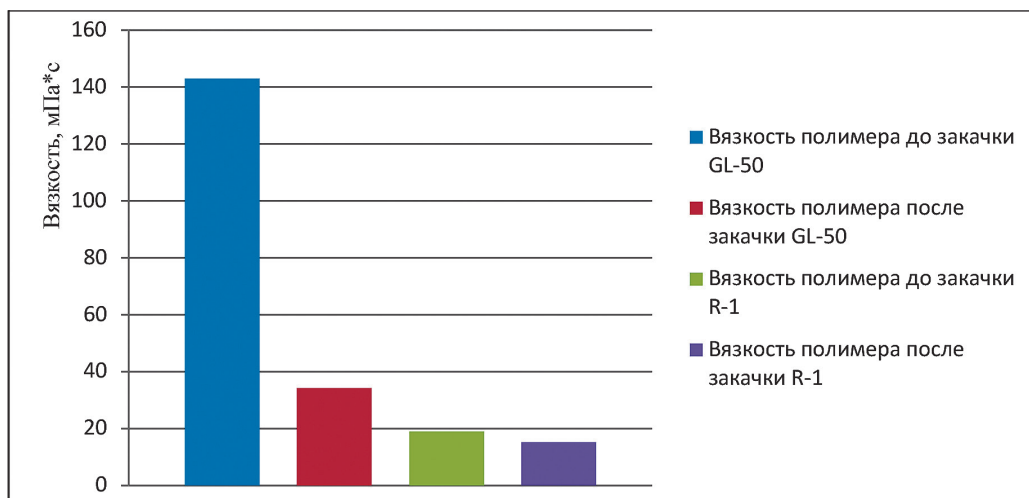


Рисунок 9 – Изменение вязкости до и после закачки полимеров

Из полученных результатов следует вывод, что степень эффективности, гидролиза и присутствие ионов зависит от марки полимеров.

**Выводы.** Результаты испытания полимеров показали, что коэффициент вытеснения с использованием полимера марки R-1 составляет 0,667 д.ед., а для марки GL-50 – 0,592 д.ед. При сравнении коэффициентов вытеснения на начальных этапах закачки полимеров динамика вытеснения у полимера R-1 выше, чем у GL-50. Это можно объяснить тем, что при использовании полимера марки R-1 наблюдается вытеснение нефти по всей площади поперечного сечения испытываемого образца (сплошное вытеснение), в то время как при использовании марки GL-50 нефть начинает вытесняться вначале по крупным поровым каналам, образуя языки прорыва.

На основании полученных лабораторных исследований рекомендуется провести на месторождениях Казахстана закачку полимера марки R-1. 🌐

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Bissembayeva K.T., Aissayeva T.S., Zholbassarova A.T., Islamberdiyev Zh, Bayamirova R.U., Togasheva A.R. Well flow rates at secondary well stimulation // International journal of engineering & technology. – 2018. – N 7. – P. 65-72.
- 2 Koilybayev B.N., Strekov A.S., Bissembayeva K.T., Mammadov P.Z., Akhmetov D.A., Kirisenko O.G. Decision-making on restriction of water inflows into oil wells in dependence on type of initial information / XL International correspondence scientific and practical conference “European research: innovative in science, education and technology”. – Poland, August, 2018.
- 3 Sandeep R., Ganshyam P., Akhil A. Polymers for enhanced oil recovery: fundamentals and selection criteria // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2017. – N 101. – P. 4387–4402.
- 4 Harry L. Polymer flooding technology yesterday, today, and tomorrow // Pet. Technol. – 1978. – N 30. – P. 101–113.
- 5 Шарипов А.У. Разработка и применение полимерных растворов при бурении и заканчивании глубоких скважин. – Уфа: Tau, 2003. –168 с. [Sharipov A.U. Razrabotka i primeneniye polimernykh rastvorov pri burenii i zakanchivaniy glubokikh skvazhin. – Ufa: Tau, 2003. – 168 s.]
- 6 Chen Z. et al. A study of factors influencing polymer hydrodynamic retention in porous media / SPE Improved Oil Recovery Conference. Society of Petroleum Engineers, Tulsa, Oklahoma, USA. 2016.
- 7 Choi B.I., Park K.H., Choi J.S., Lee K.S. New approach for modeling of polymer retention mechanisms–Mechanical entrapment and adsorption / 76th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2014: Experience the Energy - Incorporating SPE EUROPEC, 2014. – P. 1026–1030.
- 8 Davarpanah A. A feasible visual investigation for associative foam polymer injectivity performances in the oil recovery enhancement // Eur. Polym. – 2018. – N 105. – P. 405–411.
- 9 Sorbie K.S. Polymer Improved Oil Recovery. Blackie and Son Glasgow, 1991.
- 10 Kamal M.S., Sultan A.S., al Mubaiyedh U.A., Hussein I.A., Feng Y. Rheological Properties of Thermoviscosifying Polymers in High-temperature and High-salinity Environments // Can. J. Chem. Eng. – 2015. – N 93. – P. 1194–1200.
- 11 Mishra S., Bera A., Mandal A. Effect of Polymer Adsorption on Permeability Reduction in Enhanced Oil Recovery // Pet. Eng. – 2014. – N 1. – P. 9.
- 12 Wassmuth F.R., Arnold W., Gree K., Cameron N. Polymer Flood Application to Improve Heavy Oil Recovery at East Bodo / Canadian International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, 2007.
- 13 Maghzi A. et al. The impact of silica nanoparticles on the performance of polymer solution in presence of salts in polymer flooding for heavy oil recovery // Fuel. – 2014. – N 123. – P. 123-132.
- 14 Seright R.S., Fan T., Wavrik K., Wan H., Gaillard N. Favéro C. Rheology of a New Sulfonic Associative Polymer In Porous Media / SPE Reservoir Evaluation & Engineering, December, 2011. – P. 726 – 734.
- 15 Берлин А.В. Физико-химические методы повышения нефтеотдачи. Полимерное воздействие (обзор) // Научно-технический вестник ОАО «НК-Роснефть». – 2011. – №22. – С. 16-24. [Berlin A.V. Fiziko-khimicheskiye metody povysheniya nefteotdachi. Polimernoye vozdeystviye (obzor) // Nauchno-tekhnicheskij vestnik ОАО «НК-Роснефть». – 2011. – №22. – С. 16-24].