

## INVESTIGATION OF MODIFIED POLYACRYLAMIDE FOR OIL DISPLACEMENT

A.B. Issa<sup>1</sup>, O.K. Beissenbayev<sup>1</sup>, A.Sh. Kydyraliyeva<sup>1</sup>, M.M. Yessirkepova<sup>1</sup>,  
E.A. Tussupkaliyev<sup>2\*</sup>, Zh.N. Kainarbayeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup> A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

\*E-mail: [t\\_ersin@mail.ru](mailto:t_ersin@mail.ru)

**Abstract.** *Introduction.* At present, the use of surfactants and water-soluble polyelectrolytes, which act as stabilizing and selective agents, is inextricably linked with the successful solution of the technological issues in the world of chemical, oil and other industries. *The purpose* of the work is to synthesize and study the physicochemical properties of modified polyacrylamide with gossypol resin and further crosslinking in the presence of potassium persulfate and sodium sulphate to displace oil. *Methods.* To establish the spectral characteristics of the modified PAA, IR spectra have been taken on an IR-Fourier spectrometer. For the structural-elemental composition (SEM), a Jeol JSM-6490I V electron microscope has been used. The viscosity of modified PAA solutions has been measured in a Ubellode capillary viscometer with a hanging level. *Results and discussion.* The studies, carried out by the authors of the study of the colloid-chemical properties of polymer composites, allow us to conclude that the reagents obtained during the hydrolysis of vat residues of fatty acids distillation with sodium hydroxide with further cross-linking in the presence of potassium persulfate and sodium sulphate have good surface-active and emulsifying properties, which is important when displacing oil from layers. The surface tension of polymer compositions has been studied. With an increase in the concentration of the solution, the surface tension decreases, i.e., the surface activity increases. *Conclusion.* The research results show that the injection of a polymer reagent solution can increase the oil displacement efficiency by 6-7%.

**Keywords:** modification, surfactants, viscosity, polymer flooding, oil displacement

<i>Issa Aziza Bakytzhankyzy</i>	<i>PhD doctoral student, E-mail: <a href="mailto:isa.aziza@mail.ru">isa.aziza@mail.ru</a></i>
<i>Beissenbayev Oral Kurganbekovich</i>	<i>Doctor of technical sciences, professor, E-mail: <a href="mailto:oral-kb@mail.ru">oral-kb@mail.ru</a></i>
<i>Kydyraliyeva Aigul Shazhaliyevna</i>	<i>PhD doctoral student, E-mail: <a href="mailto:aigul.ukgu@mail.ru">aigul.ukgu@mail.ru</a></i>
<i>Yessirkepova Maral Mahmudovna</i>	<i>PhD, E-mail: <a href="mailto:mar.yess@mail.ru">mar.yess@mail.ru</a></i>
<i>Tussupkaliyev Ersin Adiyetovich</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, E-mail: <a href="mailto:t_ersin@mail.ru">t_ersin@mail.ru</a></i>
<i>Kainarbayeva Zhaniya Nurbekovna</i>	<i>Master, E-mail: <a href="mailto:zhaniya.kn@gmail.com">zhaniya.kn@gmail.com</a></i>

**Citation:** Issa A.B., Beissenbayev O.K., Kydyraliyeva A.Sh., Yessirkepova M.M., Tussupkaliyev E.A., Kainarbayeva Zh.N. Investigation of modified polyacrylamide for oil displacement (Review). *Chem. J. Kaz.*, 2023, 2(82), 141-151. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2023-2.2710-1185.21>

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИАКРИЛАМИДА ДЛЯ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ**

*А.Б. Иса*<sup>1</sup>, *О.К. Бейсенбаев*<sup>1</sup>, *А.Ш. Кыдыралиева*<sup>1</sup>, *М.М. Есиркепова*<sup>1</sup>,  
*Е.А. Тусупкалиев*<sup>2\*</sup>, *Ж.Н. Кайнарбаева*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

<sup>2</sup>АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

\*E-mail: [t\\_ersin@mail.ru](mailto:t_ersin@mail.ru)

**Резюме.** *Введение.* В настоящее время использование поверхностно-активных веществ и водорастворимых полиэлектролитов, выполняющих роль стабилизирующих и избирательных агентов, неразрывно связано с успешным решением в мире технологических вопросов химических, нефтяных и других отрасли промышленности. *Цель работы* является синтез и исследования физико-химических свойств модифицированного полиакриламида с госсиполовой смолой и с дальнейшей сшивкой в присутствии персульфата калия и серноватистокислого натрия для вытеснения нефти. *Методы.* Для установления спектральных характеристик модифицированного полиакриламида (ПАА) были сняты ИК-спектры на ИК-Фурье спектрометре. Для структурно-элементного состава (РЭМ) использовали электронный микроскоп марки Jeol JSM-6490I V. Измерение вязкости растворов модифицированных ПАА проводилось в капиллярном вискозиметре Убеллоде с висязим уровнем. *Результаты и обсуждение.* Проведенные авторами исследования по изучению коллоидно-химических свойств полимерных композитов позволяют сделать вывод, что полученные, при гидролизе кубовых остатков дистилляции жирных кислот (КО ДЖК) гидроокисью натрия с дальнейшей сшивкой в присутствии персульфата калия и серноватистокислого натрия, реагенты обладают хорошим поверхностно-активными и эмульгирующими свойствами, что важно при вытеснении нефти из пластов. Изучено поверхностное натяжение полимерных составов. При увеличении концентрации раствора снижается поверхностное натяжение, т.е. Повышается поверхностная активность. *Вывод.* Результаты исследований показывают, что закачка раствора полимерного реагента позволяют увеличить коэффициент вытеснения нефти на 6-7%.

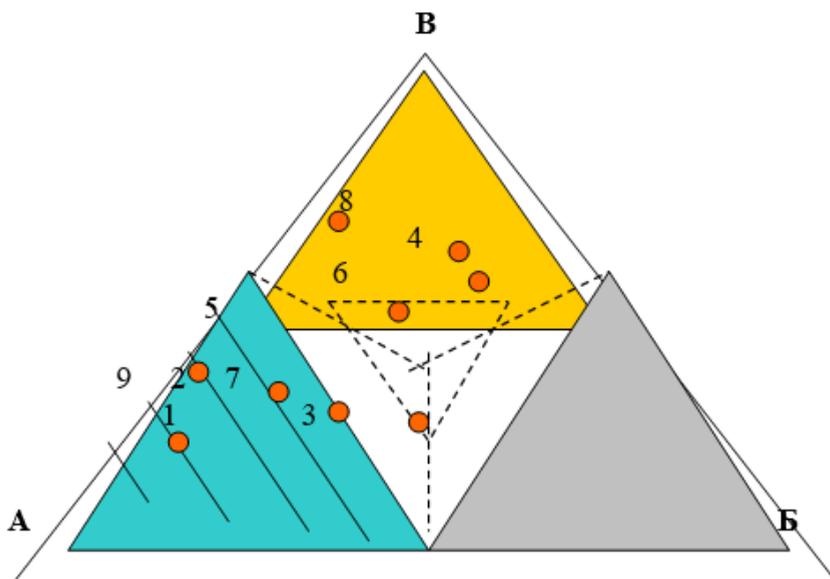
**Ключевые слова:** модификация, поверхностно-активные вещества, вязкость, полимерное заводнение, вытеснение нефти

<i>Иса Азиза Бакытжановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Бейсенбаев Орал Курганбекович</i>	<i>Доктор технических наук, профессор</i>
<i>Кыдыралиева Айгуль Шажаалиевна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Есиркепова Марал Махмудовна</i>	<i>PhD</i>
<i>Тусупкалиев Ерсин Адиетович</i>	<i>Кандидат технических наук</i>
<i>Кайнарбаева Жания Нурбековна</i>	<i>Магистр</i>

**1. Введение**

Основным источником энергии и важным сырьем для химической промышленности является нефть. Значительная часть нефтяных месторождений Казахстана находится на поздней стадии разработки, которая определяется неуклонным снижением уровня добычи нефти и сопутствующим ростом ее обводненности [1,2]. Методы повышения нефтеотдачи необходимы для эффективной добычи увеличивающейся доли запасов нефти, находящихся в малопродуктивных и обводненных коллекторах. Основной метод добычи нефти заключается в вытеснении нефти водой, но такой метод позволяет извлечь только 50-55%

геологических запасов, при этом 20-45% нефти удерживаются капиллярными силами, а также неравномерное вытеснение нефти водой оставляет значительное количество нефти в низкопроницаемых пластах и пропластках. Для вытеснения капиллярно удерживаемой нефти используются растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) и композиции на их основе. На рисунке 1 представлена диаграмма надежности методов увеличения нефтеотдачи пластов [3].



1-парообработка, 2- вытеснение нефти паром, 3 – внутрипластовое горение, 4 – мицеллярное заводнение, 5- полимерное заводнение, 6 – щелочное заводнение, 7 – закачка углеводородных газов, 8 – вытеснение диоксида углерода, 9 – закачка дымовых газов, А – успех, В – неудача, В – неопределенность.

**Рисунок 1-** Диаграмма надежности метода.

*Примечание:* Каждая точка характеризуется тремя координатами, соответствующими отношению числа экспериментов с положительными, отрицательными и неопределенными результатами. В углах 100% успех, 100% неудача, 100% неопределенность, в центре все координаты равны.

В настоящее время во многих странах мира большое внимание уделяется созданию ПАВ с полифункциональными свойствами, путем подбора различных составов полимеров. Кроме того, разработка технологии получения ПАВ на основе вторичного химического сырья является предметом научных исследований, так как решает экологические проблемы, связанные с утилизацией отходов и повторным использованием, которые влияют на экономику и развитие химической промышленности [3].

По ряду авторов [4] для рационального использования низко- и высокомолекулярных ПАВ в регулировании свойств дисперсных систем

необходимы исследования функционального состава, структурно-кинетического состояния растворов ПАВ, а также влияние поверхностных явлений межфазных границ, влияющих на комплексов ПАВ с полифункциональными свойствами.

Разработка новых полимерных поверхностно-активных веществ направлена на повышение их растворимости, расширение сферы их применения и улучшение их коллоидно-химических характеристик. Эти факторы в сочетании с поверхностной активностью влияют на эффективность использования полимерных поверхностно-активных веществ в процессе нефтеотдачи.

Модификация полимеров и смесей ПАВ приводит к необходимости изучения влияния ПАВ на различные свойства.

Использование поверхностно-активных веществ (ПАВ) в качестве технологических добавок широкого спектра действия всегда вызывает, и будет вызывать научный и практический интерес. Актуальными остаются исследования по поиску более эффективных ПАВ и эффективных условий их использования; изучение механизма влияния ПАВ на реологические свойства смесей. Изучению взаимодействия полимера с активным наполнителем, основам перевода неактивных наполнителей в активные посвящены работы ученых А.П. Ребиндера, Б.А. Догадкина А.Б. Таубманом и др. [4-8].

Широкое применение в различных отраслях промышленности имеют анионоактивные и катионоактивные ПАВ, синтезируемые на основе синтетических жирных кислот и высших спиртов [9].

Наряду с применением «чистых» химических препаратов для синтеза ПАВ нами проведены исследования по возможности использования много тоннажных отходов химической и перерабатывающей, в частности масложировой промышленности.

Как показывают результаты изучения состава КО ДЖК в нем содержатся от 52 до 60% карбоновых жирных кислот, которые являются ценным сырьем для получения ПАВ [10].

Как видно из таблицы 1, физико-химические свойства и состав КО ДЖК позволяет служить сырьем для получения различных ПАВ. Методы синтеза ПАВ в большинстве случаев основаны на последовательном проведении общеизвестных реакций органической химии.

Таблица 1 - Физико-химические свойства и состав КО ДЖК [11]

Показатель	Первый вид	Второй вид
------------	------------	------------

Внешний вид	Однородная масса	Вязкотекучая
Цвет	От темно-коричневого	До черного
Кислотное число, мг КОН	70-100	50-70
Содержание золы, %	1.0	1.2
Содержание влаги и летучих веществ, %	4.0	4.0
Растворимость в ацетоне, %	80	70
Удельная масса, г/см <sup>3</sup>	0,98-0,99	
Число омыления, мг КОН	От 80 до 130	
Примерный состав госсиполовой смолы, %		
Жирные и оксигирные кислоты	52	52
Продукты превращения	36	36
Азотсодержащие соединения	12	12

Как показывают результаты изучения состава КО ДЖК в нем содержатся от 52 до 60% карбоновых жирных кислот, которые являются ценным сырьем для получения ПАВ [11-16].

Методы синтеза ПАВ в большинстве случаев основаны на последовательном проведении общеизвестных реакций органической химии.

В данной работе представлены синтез и свойства комплексов ПАВ на основе ПАА в присутствии КО ДЖК.

Были изучены вязкостные характеристики полученных комплексов с различными концентрациями ПАВ, и проведено тестирование эффективности в пластовой воде для вытеснения нефти.

## 2. Экспериментальная часть

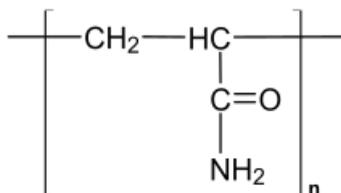
Объектом исследования для получения ПАВ был принят КО ДЖК Южно – Казахстанского масла жироккомбината («Кайнар»).

КО ДЖК представляет собой чёрную, густую, вязкую и липкую массу с плотностью 0.9-0.91 г/см<sup>3</sup>, влажностью не выше 0.3%.

В составе КО ДЖК содержатся до 60% высокомолекулярных полимеризованных жирных кислот, а также гидрофобные продукты, получаемые при пирогенетическом разложении соапстока (жиры, фосфатиды, каротиноиды, госсипол), в процессе его вакуумной разгонки. КО ДЖК растворяется в органических растворителях: бензине, дизельном топливе, нефти и спиртах.

В качестве исследуемой нефти использовали нефть Кумкольских месторождений. Были взяты образцы нефти плотностью 812—819 кг/м<sup>3</sup>. Минерализация воды (хлорокальциевая) в пластах составила 49.7-84 г/л.

В эксперименте использован полиакриламид фирмы «Алита» Казахстан. Химическая формула:



Для установления спектральных характеристик модифицированного полимерного реагента были сняты ИК-спектры на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu YR Prestige-21 с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения Miracle.

Для структурно-элементного состава (РЭМ) использовали электронный микроскоп марки Jeol JSM-6490I V.

Далее, измерение вязкости растворов модифицированных ПАА проводилось в капиллярном вискозиметре Убеллоде с висязчим уровнем (время истечения растворителя ~ 100-120 секунд) при температуре  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ . Точность измерения приведенной  $\eta_{\text{пр}}$  вязкости составляла  $\pm 1\%$ .

### 3. Результаты и обсуждение

С целью определения его пригодности для получения полимерного композита были проведены физико-химические исследования его компонентного состава. Характеристики отдельных фракций КО ДЖК - приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Физико - химические характеристики фракций КО ДЖК

№	Фракции	Выход (в % к весу КО ДЖК)	Тпл, °С	Цвет	Состав фракции
1	Неомыляемая часть	21-22	-	Темно-коричневый	Углеводороды: C <sub>27</sub> , C <sub>29</sub> , C <sub>31</sub> , C <sub>28</sub> , C <sub>30</sub> , C <sub>32</sub> спирты и ситостерин
2	Жирно-кислотная часть	52-55	-	Черный	Жирные кислоты C <sub>16</sub> -C <sub>18</sub>
3	Фенольная	22-23	180-181	От коричневого до темно-коричневого	Фенолы

Как видно из таблицы 2 неомыляемая часть КО ДЖК содержит углеводороды, но их количество невелико (0.75-1.0% к весу фракции КО ДЖК).

В связи с вышеизложенными авторами изучены высокомолекулярные углеводороды, содержащиеся в КО ДЖК.

Состав смесей углеводородов, полученных из КО ДЖК следующий (%): C<sub>27</sub>H<sub>56</sub> – 8, C<sub>30</sub>H<sub>62</sub> – 6, C<sub>29</sub>H<sub>60</sub> – 41, C<sub>32</sub>H<sub>66</sub> – 1, C<sub>31</sub>H<sub>64</sub> – 37, C<sub>33</sub>H<sub>68</sub> – 5.

Важным показателем КО ДЖК является кислотное число, которое характеризуется содержанием остатков предельных и непредельных жирных кислот. В работе был использован КО ДЖК МЖК «Кайнар», кислотное число которого колеблется в пределах 60-90 мг/КОН.

В лабораторных условиях были получены полимерные композиции на основе полиакриламида и КО ДЖК, и дальнейшей сшивкой в присутствии персульфата калия и серноватисто кислого натрия.

В процессе модификации в присутствии жирных кислот госсиполовой смолы полимер приобретает поверхностно-активные свойства. Для увеличения вязкости и высокомолекулярной фракции в макромолекуле проведена сшивка (непрореагировавшей и олигомерной фракции жирных кислот госсиполовой смолы с ПАА) в присутствии инициатора окислительно-восстановительной системы (персульфата калия и серноватисто-кислого натрия 0.1% от массы), при температуре 40-60<sup>0</sup>С в течении 1.0 часа. В результате сшивки вязкотекучая масса превращается в гелеобразное состояние, при этом наблюдается высокий выход высокомолекулярной фракции (относительная вязкость 1%-ного раствора модифицированного ПАА равна 5.9 мм<sup>2</sup>/с, а после сшивки равен 11.5).

Отличительной особенностью продукта является его хорошая водорастворимость как в холодной, так и горячей воде.

При растворении в воде отдельные кусочки омыленной КО ДЖК первоначально слегка набухают, затем постепенно растворяются. При механическом перемешивании процесс растворения ускоряется.

Получение полимерной композиции из полиакриламида и кубового остатка дистиллированных жирных кислот, осуществлено на лабораторной установке (рисунок 2).

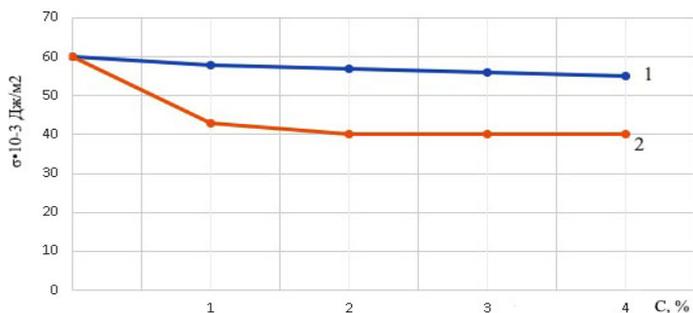


Рисунок 2- Химическая схема производства.

Водные растворы синтезированных поверхностно-активных веществ на основе КО ДЖК характеризуются щелочной реакцией.

С ростом концентрации, значения рН водных растворов поверхностно-активные вещества возрастают.

Как видно из рисунка 3 изотерма поверхностного натяжения растворов полимерных реагентов (рисунок 3) уменьшается с повышением концентрации. Это, видимо, обусловлено различным содержанием поверхностно-активных звеньев.



**Рисунок 3** - Изотермы поверхностного натяжения в зависимости от концентрации водных растворов полиакриламида (1) и модифицированного полиакриламида в присутствии КО ДЖК (2).

Проведенные авторами исследования по изучению коллоидно-химических свойств полимерных композитов позволяют сделать вывод, что полученные, при гидролизе КО ДЖК гидроокисью натрия с дальнейшей сшивкой в присутствии персульфата калия и серноватистокислого натрия, реагенты обладают хорошим поверхностно-активными и эмульгирующими свойствами, что важно при вытеснении нефти из пластов.

В таблице 3 представлены изменения динамической вязкости нефти Кумкольских месторождений при добавлении полимерных композитов в количестве 450 г/т в зависимости от скорости сдвига при 40 °С. Результаты расчетов показывают, что использование полимерного композита в качестве понижителя динамической вязкости ( $\mu$ ) приводит к наилучшим результатам при добавлении его в нефти Кумкольских месторождений. При увеличении степени сдвига от 9 до 439 с<sup>-1</sup> во всех исследуемых нефтях отмечаются значительные повышения индексов эффективности ( $J_{эфф}$ ) при использовании полимерных композитов.

**Таблица 3** - Изменения динамической вязкости нефти Кумкольских месторождений с добавкой полимерного композита в количестве 450 г/т в зависимости от скорости сдвига при 40 °С

Скорость сдвига ( $\dot{\gamma}$ ), с <sup>-1</sup>	Динамическая вязкость нефтей ( $\mu$ ), Па·с									
	Наименование месторождения нефти									
	№1 (контроль)		№4		№5		№2		№3	
	исходная	с ПК	исходная	с ПК	исходная	с ПК	исходная	с ПК	исходная	с ПК
9	44.18	40.7	98.52	92.1	73.25	68.1	81.12	76.2	78.54	72.8
49	21.13	18.1	34.43	31.1	30.16	27.5	35.27	30.7	28.12	25.1
83	16.14	14.1	24.55	20.1	19.84	15.6	21.18	17.1	19.43	16.8
245	10.11	7.72	16.74	12.5	11.15	8.12	13.54	10.2	12.81	9.64
439	9.27	5.44	14.57	9.74	10.44	6.35	11.85	6.75	10.17	6.22

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать синтезированные полимерные композиты к использованию в качестве понизителя вязкости нефти.

#### 4. Заключение

Таким образом, выявлены оптимальные условия процесса получения полимерного композита на основе полиакриламида в присутствии госсиполовой смолы. Полученные данные позволят более эффективно моделировать процесс вытеснения остаточной высоковязкой нефти из неоднородно-пористой среды. Исследовано влияние температуры, концентрации, pH среды, степени минерализации воды на процесс получения полимерного реагента в композитных дисперсных системах.

Полученный композиционный полимерный реагент при вытеснении нефти Кумкольского месторождения даёт наилучшие результаты, то есть закачка раствора полимерного реагента позволила увеличить коэффициент вытеснения нефти на 6%.

**Финансирование:** Работа выполнена по программе целевого финансирования научных исследований на 2022-2024 годы, осуществляемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, по проектам BR18574042

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

#### МҰНАЙДЫ ҒЫСТЫРУ ҮШІН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ПОЛИАКРИЛАМИДТІ ЗЕРТТЕУ

*А.Б. Иса<sup>1</sup>, О.К. Бейсенбаев<sup>1</sup>, А.Ш. Кыдыралиева<sup>1</sup>, М.М. Есиркенова<sup>1</sup>,  
Е.А. Тусупкалиев<sup>2\*</sup>, Ж.Н. Кайнарбаева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

<sup>2</sup>«А.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

\*E-mail: [t\\_ersin@mail.ru](mailto:t_ersin@mail.ru)

**Түйіндеме.** *Kipicne.* Қазіргі уақытта тұрақтандырғыш және селективті агенттер ретінде әрекет ететін беттік-белсенді заттар мен суда еритін полиэлектролиттерді пайдалану әлемде химия, мұнай және басқа да салалардағы технологиялық мәселелерді табысты шешумен ажырамас байланысты. *Жұмыс мақсаты* калий персульфаты мен натрий сульфатының қатысуымен мұнайды ығыстыру үшін госсиполды шайырмен модификацияланған полиакриламидтің физика-химиялық қасиеттерін синтездеу және зерттеу және одан әрі байланыстыру. *Әдістер.* Модификацияланған полиакриламид (ПАА) спектрлік сипаттамаларын анықтау үшін ИҚ-спектрлері IR-Фурье спектрометрінде алынды. Құрылымдық-элементтік құрам (SEM) үшін Jeol JSM-6490I V электронды микроскоп қолданылды. Модификацияланған ПАА ерітінділерінің тұтқырлығы ілулі деңгейі бар Ubellode капиллярлық вискозиметрінде өлшенді. *Нәтижелер мен талқылау.* Полимерлі композициялардың коллоидты-химиялық қасиеттерін зерттеу бойынша авторлар жүргізген зерттеулер май қышқылдарының дистилляциясының қалдықтарынатрий гидроксидімен гидролизі кезінде алынған реагенттер калий персульфаты мен натрий сульфатының қатысуымен әрі қарай айқасатындығы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. жақсы беттік-белсенді және эмульгирлеуші қасиеттерге ие, бұл қабаттардан майды ығыстыру кезінде маңызды. Полимерлі композициялардың беттік керілуі зерттелді. Ерітінді концентрациясының жоғарылауымен беттік керілу азаяды, яғни беттік белсенділік артады. *Тұжырым.* Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, полимерлі реагент ерітіндісін айдау мұнайдың ығысу тиімділігін 6-7% арттыруға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** модификация, беттік-белсенді заттар, тұтқырлық, полимерлі суландыру, мұнайдың ығысуы

<i>Иса Азиза Бакытжановна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Бейсенбаев Орал Құрманбекович</i>	<i>Техника ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Қыдырәлиева Айгүль Шажалиевна</i>	<i>PhD докторант</i>
<i>Есиркенова Марал Махмудовна</i>	<i>PhD</i>
<i>Тусупқалиев Ерсин Адиевич</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты</i>
<i>Қайнарбаева Жания Нұрбековна</i>	<i>Магистр</i>

### Список литературы:

1. Don W. Green, G. Paul Willhite. Society of Petroleum Engineers. *Enhanced Oil Recovery*, **2020**, 2, 900 p. <https://store.spe.org/Enhanced-Oil-Recovery-Second-Edition-P1076.aspx> (дата обращения: 20.03.2023).
2. Muggerridge A., Cockin A., Webb K., Frampton H., Collins I., Moulds T., Salino P.. Recovery rates, enhanced oil recovery and technological limits. *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **2014**, 372 p. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0320>
3. Votsalevsky E.S. Oil & Gas Fields of Kazakhstan. *Information & Analytical Center of Geology, Ecology and Natural Resources*, Almaty, **2005**, 318 p.
4. Bekturov E.A., Bimendina L.A., Mamytbekov G.K. Complexes of water-soluble polymers and hydrogels. Monograph. *Scientific and publishing center "Gylym"*, Almaty, **2002**, 217 p.
5. Malcolm A. Kelland. Production chemicals for the oil and gas industry. *CRC press*, **2014**, 2, 454p. <https://www.routledge.com/Production-Chemicals-for-the-Oil-and-Gas-Industry/Kelland/p/book/9781439873793> (дата обращения: 20.03.2023).
6. Dandekar, A., Bai, B., Barnes, J., Cercone, D., Ciferno, J., Ning, S., Seright, R., Sheets, B., Wang, D., Zhang, Y. First Ever Polymer Flood Field Pilot - A Game Changer to Enhance the Recovery of Heavy Oils on Alaska's North Slope. *SPE Western Regional Meeting, USA*, **2019**. DOI: <https://doi.org/10.2118/195257-MS>
7. Beissenbayev, O.K., Yessirkepova, M. Investigation of a mechanism for extraction of organic components of a mineral part from Imankara field oil-bituminous rocks by ultrasonic treatment method in the presence of surfactants and flocculants. *Oriental Journal of Chemistry*, **2018**, 34, 482–492.

<https://www.sigmaaldrich.com/KZ/en/tech-docs/paper/1188874> (дата обращения: 20.03.2023).

8. Zhao, Y. Yin, S. Seright, R.S. Ning, S. Zhang, Y.; Bai, B. Performance of Low Salinity Polymer Flood in Enhancing Heavy Oil Recovery on the Alaska North Slope. In *Proceedings of the SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference, Virtual; American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, USA, 2020*. DOI: <https://doi.org/10.15530/urtec-2020-1082>

9. Poulsen A., Shook G. M., Jackson A., Ruby N., Charvin K., Dwarakanath V., Thach S., Ellis M. Results of the UK Captain Field Interwell EOR Pilot. *SPE Improved Oil Recovery Conference, Tulsa, Oklahoma, USA, 2018*. DOI: <https://doi.org/10.2118/190175-MS>

10. Turemuratov, R.S., Beissenbayev, O.K., Isa, A.B., Iskendirov, B.Zh., Ivakhnenko, A.P. Synthesis and properties of depressators based on copolymers in the presence of gossypol pitch. *Oriental Journal of Chemistry, 2015, 31, 1447–1453*. DOI: <https://doi.org/10.13005/ojc/310323>

11. Yongjun Guo, Jian Zhang, Yigang Liu, Guangcheng Liu, Xinsheng Xue, Pingya Luo, Zhongbin Ye, Xinmin Zhang, Yan Liang. Successful Scale Application of Associative Polymer Flooding for Offshore Heavy Oilfield in Bohai Bay of China. *SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Bali, Indonesia, October 29–31, 2019*. DOI: <https://doi.org/10.2118/196467-MS>

12. Baloch S.A., Leon J.M., Masalmeh S.K., Chappell D, et.al. Expanding Polymer Injectivity Tests on a Second Giant Carbonate UAE Oil Reservoir at High Salinity & High Temperature Conditions. *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE, 2021*. DOI: <https://doi.org/10.2118/207498-MS>

13. Kamal M.S., Sultan A.S., et. al. Review on Polymer Flooding: Rheology, Adsorption, Stability, and Field Applications of Various Polymer Systems. *Polymer Reviews, 2015, 55, 491-530*. DOI: <https://doi.org/10.1080/15583724.2014.982821>

14. Beisenbaev O.K., Shin L.D., Sataev I.K., Akhmedov K.S. *Izv vyssh uchebn zaved neft i gaz, 1982, 5, 25–28*.

15. Zhao Y., Yin S., Seright R.S., Ning S., Zhang Y., Bai B. Enhancing Heavy-Oil-Recovery Efficiency by Combining Low-Salinity-Water and Polymer Flooding. *SPE J. 2020, 26, 1535–1551*. DOI: <https://doi.org/10.2118/204220-PA>

16. Thomas, A., Giddins, M., Wilton, R. Why is it so Difficult to Predict Polymer Injectivity in Chemical Oil Recovery Processes. *IOR 2019 – 20<sup>th</sup> European Symposium on Improved Oil Recovery, 2019, 2019, 1-25*. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201900114>