

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05301 – Химия

Елемесовой Гульнур Тайбековны

«Синтез и свойства гидрогелевых частиц (PPG) для оптимизации работы нефтяных скважин»

Общая характеристика работы

Диссертационное исследование посвящено синтезу и исследованию новых композитных полиэлектролитных, полиамфолитных и гидрофобно-модифицированных предварительно сшитых гидрогелевых частиц (PPG (Preformed Particle Gels)) на основе акриламида (ААм) с добавлением бентонита, способных набухать в мало-, средне- и сильноминерализованных пластовых водах. Полученные образцы исследованы различными физико-химическими методами и протестированы в качестве потокоотклоняющих агентов в процессе выравнивания профиля приемистости нефтяного пласта при добыче нефти в модельных условиях.

Актуальность темы исследования

В настоящее время отечественные сервисные компании, выполняющие работы по увеличению нефтеотдачи, используют в качестве агентов для выравнивания профиля приемистости пласта (перераспределения фильтрационных потоков) водорастворимые и/или водонабухающие полимеры. Такими полимерами могут быть различные модификации полиакриламида, отличающиеся молекулярной массой, степенью гидролиза, температурной стабильностью и т.д. Так же для подобных целей используются водорастворимые природные полисахариды, например, ксантан, веллан, геллан и другие. Однако, все вышеперечисленные полимеры не производятся на территории Казахстана, тем самым нефтесервисные компании попадают в сильно выраженную сырьевую зависимость от зарубежных стран-экспортеров данной продукции. В связи с этим, разработка отечественных полимерных материалов для повышения эффективности разработки нефтяных месторождений является очень актуальной задачей. Одним из перспективных материалов, повышающих нефтеотдачу, являются гидрогелевые частицы, так как они способны блокировать высокопроницаемые обводненные каналы или трещины, тем самым перераспределяя нагнетаемую жидкость в новые, ранее не охваченные разработкой, нефтенасыщенные зоны. Тема диссертации соответствует приоритетному направлению науки в области химии высокомолекулярных соединений.

Целью диссертационной работы является синтез PPG на основе полимерных систем различной природы для уменьшения обводненности нефтяных скважин.

В соответствии с поставленной целью решаются следующие **задачи**:

1. Синтез полиэлектролитных, полиамфолитных и гидрофобно-модифицированных гидрогелей на основе неионогенного мономера – акриламида, обладающих высокими набухающими, механическими, термостойкими свойствами.
2. Исследование структуры синтезированных гидрогелевых частиц методом ИК-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, изучение термических, механических и набухающих свойств PPG.
3. Исследование закупоривающих свойств полимерных материалов на ядрах физической модели высокопроницаемого нефтяного коллектора.

Объектами диссертационного исследования являются полиамфолитные гидрогели на основе натриевой соли 2-акриламидо-2-метил-1-пропансульфоновой кислоты (АМПС), (3-акриламидопропил)триметиламмоний хлорида (АПТАХ) и акриламида (ААм), полиэлектролитные гидрогели на основе акрилата натрия (АН) и ААм, гидрофобно-модифицированные гидрогели, которые сочетают гидрофильные свойства ААм (растворимость в воде) и гидрофобные свойства октадецилакрилата (лаурилакрилата).

Предметом исследования диссертации является структура гидрогелей, их способность к набуханию, механическая прочность, термоустойчивость и оценка эффективности гидрогелей в модели нефтяного ядра для повышения нефтеотдачи.

Личный вклад автора заключается в самостоятельной постановке и формулировке задач диссертационного исследования, проведении аналитического обзора современного состояния проблемы, синтезе гелевых материалов, выполнении комплекса физико-химических исследований и анализе полученных экспериментальных данных. Автор принимал непосредственное участие в реализации основного экспериментального этапа, включая работу с моделью нефтяного ядра.

Анализ экспериментальных результатов, их систематизация, а также формулировка основных выводов и обобщений, отражающих итоги проведенного исследования, выполнены автором совместно с научными консультантами.

Теоретическая и методологическая база исследования. Диссертационное исследование проводилось на основе физико-химических методов анализа. Синтез проведен методом свободно-радикальной

сополимеризации. Исследование свойств гидрогелей проводили методами гравиметрии, ИК-Фурье спектроскопии, термогравиметрии, сканирующей электронной микроскопии. С помощью механического анализа определен модуль Юнга гидрогелей. Образцы PPG протестированы на модели нефтяного керна.

Для графического описания структурных формул химических элементов и соединений использовалась программа ChemDraw. Для статистической обработки результатов исследования и их графического описания использовались следующие программы: Origin, Microsoft Office.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые получены композитные полиэлектролитные, полиамфолитные, гидрофобно-модифицированные гидрогелевые частицы, способные набухать в различных пластовых водах и температурах, которые будут использованы для выравнивания профиля приемистости нефтяных пластов. Преимуществом данного подхода является одностадийный метод получения набухающего геля, не требующего дополнительного сшивающего агента (ацетат хрома, цитрат алюминия) для применения на месторождении. Более того, в процессе механического измельчения гидрогелевого материала возможно задавать конечные физические размеры полимерных частиц, что является неоспоримым преимуществом в технологическом плане. Ввиду различной геологии нефтяных месторождений Казахстана, техногенные трещины или трещиноватый коллектор нефтяных скважин требуют применения более жестких закупоривающих агентов, при этом применение гидрогелевых частиц с контролируемым процессом набухания способно прочно блокировать довольно крупные трещины (размеры 1 мм и более). Отсутствие такого крайне негативного эффекта как синерезис сшитой полимерной системы, проявляющегося очень часто в системах линейный гидролизированный полиакриламид – ацетат хрома, делает применение заранее химически сшитых композитных гидрогелей весьма перспективными.

Основные положения, выносимые на защиту

Положение №1

Использование исходных мономерных смесей на основе [ААм:АН=95:5], [ААм:АПТАХ:АМПС=95:2,5:2,5], [ААм:ЛА]_{15%}, [ААм:ОДА]_{15%} позволяет получить устойчивые в сильно соленом растворе (150 г/л), механически прочные (до 500 Па), термически стойкие (до 200 °С) образцы полиэлектролитных, полиамфолитных и гидрофобно-модифицированных гидрогелей.

Положение №2

Химическая природа мономеров определяет совокупность функциональных свойств полимерных гидрогелей: максимальная степень набухания характерна для полиэлектролитных гидрогелей (29 г/г), тогда как для полиамфолитных и гидрофобно-модифицированных систем она существенно ниже (13-15 г/г); при этом полиамфолитные гидрогели, в отличие от полиэлектролитных и гидрофобно-модифицированных систем, обладают повышенной устойчивостью к изменению температуры (20-80 °С), солености (10-150 г/л) и pH среды (2-12).

Положение №3

Использование гидрогелей на основе [ААМ₉₅-АН₅], [ААМ₉₅-АПТАХ_{2,5}-АМПС_{2,5}], [ААМ-ЛА]_{15%}, [ААМ-ОДА]_{15%}, в качестве PPG снижает проницаемость воды в условиях фильтрационных экспериментов на песчаных насыпных моделях в 8000, 5700, 3400 и 1700 раз соответственно, что подтверждает их высокий потенциал для оптимизации работы нефтяных скважин.

Теоретическая значимость результатов исследования

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты имеют значение для развития теоретических и методологических основ по получению и изучению физико-химических свойств гидрогелей. Результаты диссертационного исследования могут стать основанием для постановки новых исследовательских задач.

Практическая ценность результатов исследования

В результате выполнения работы получены опытные образцы PPG на композитной основе с включением в свою структуру минеральных наполнителей. Данные образцы обладают механической и термической стойкостью, а также способны набухать в сильно минерализованных пластовых водах и при различной температуре. Полученные гидрогелевые частицы можно использовать для налаживания процесса промышленного производства и применения на нефтяных месторождениях Казахстана для увеличения нефтеотдачи.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Диссертационная работа выполнена в рамках проекта AP13068286 «Разработка предварительно сформированных гидрогелевых частиц (PPG) для увеличения добычи нефти» с грантовым финансированием Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2022-2024 годы, руководитель проекта Ph.D., Шахворостов А.В.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационного исследования были доложены и представлены на 6

международных научных конференциях: ФАРАБИ ӘЛЕМІ (Казахстан, 2023, 2024), Polish-Kazakh Meeting: Relationship Between Chemistry and Biology (Poland, 2023, 2024), 11th conference on Times of Polymers and Composites (Italy, 2024), XV Национальная научно-практическая конференция (с международным участием) «Экологические чтения-2024» (РФ, 2024).

Публикация результатов исследования

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 3 статьях в журналах, имеющих ненулевой импакт-фактор и входящих в международные информационные ресурсы Scopus и Web of Science и в 1 статье, опубликованной в научных изданиях, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации:

Gizatullina N., Yelemessova G., Klivenko A., Shakhvorostov A. Synthesis of Composite Hydrogels for Enhanced Oil Recovery // Macromol. Symp. – 2024 – Vol. 413. – P. 2300258 (3). <https://doi.org/10.1002/masy.202300258> - исследование, методология;

Yelemessova G., Gussenov I., Ayazbayeva A., Shakhvorostov A., Orazzhanova L., Klivenko A., Kudaibergenov S. Preparation and Characterization of Preformed Polyelectrolyte and Polyampholyte Gel Particles for Plugging of High-Permeability Porous Media // Gels. - 2024. - Vol. 10, 562. P. 1-24. <https://doi.org/10.3390/gels10090562> - исследование, методология, написание первой версии, редактирование;

Yelemessova G., Gussenov I., Klivenko A., Orazzhanova L., Sabitova A., Shakhvorostov A., Bardadym Y., Aseyev V. Hydrophobically Modified Acrylamide Hydrogel Particles for Conformance Control: Synthesis, Characterization and Enhanced Oil Recovery Performance // Journal of Applied Polymer Science. - 2025. - Vol.0:e57900. - P. 1-16. <https://doi.org/10.1002/app.57900> - исследование, методология, написание первой версии, редактирование;

Yelemessova G., Orazzhanova L., Klivenko A., Nurgaliyev N., Ayazbayeva A., Shakhvorostov V. Synthesis and characterization of preformed particle Gels (PPG) to increase oil recovery // NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN. - 2023. - V.4. - 457. - P.79–91 <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.194> - исследование, методология, написание первой версии, редактирование.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из содержания, определений, обозначений и сокращений, введения, трех глав, заключения, списка использованных источников. Объем диссертационного исследования составляет 103 страницы машинописного текста, включающий в себя 17 таблиц, 51 рисунок, 4 формулы. Список использованных источников насчитывает 125 наименований.