

МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»


ИНСТИТУТ ХИМИИ

Кафедра органической и экологической химии

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ
В ГЭК И ПРОВЕРЕНО НА ОБЪЕМ
ЗАИМСТВОВАНИЯ

Заведующий кафедрой

д-р хим. наук, профессор

 Кремлева Т.А.

18 июня 2019 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

«КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ
ОБРАЗЦОВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ РОССИЙСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ»

04.04.01 Химия

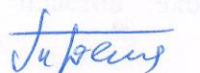
Магистерская программа «Химия нефти и экологическая безопасность»

Выполнил работу
Студент 2 курса
очной формы обучения


(Подпись)

Ковалёв
Дмитрий
Юрьевич

Научный руководитель
канд. хим.наук, доцент


(Подпись)

Третьяков
Николай
Юрьевич

Рецензент
канд. хим.наук, доцент


(Подпись)

Турнаев
Валентин
Александрович

г. Тюмень, 2019

с. 81, рис. 30, табл. 7, библи. 77.

Целью работы является разработка и исследование структуры промышленных образцов ПАВ российского производства для проведения ПАВ - полимерного заводнения комплексными методами (ВЭЖХ/УФ, ВЭЖХ/МС/МС, фазовый эксперимент, измерение межфазного натяжения и др.).

Задачи:

1. Подбор ПАВ для ПАВ-полимерного заводнения;
2. Анализ ПАВ методами ВЭЖХ/УФ, ВЭЖХ/МС/МС;
3. Изучение полученных составов ПАВ-полимерной композиции методом фазового эксперимента, межфазного натяжения методом вращающейся капли;
4. Исследование динамической адсорбции ПАВ-полимерных систем масс-спектрометрическим методом;
5. Обобщение полученных результатов.

Разработка высокоэффективных новых классов ПАВ с использованием различных методов моделирования структуры молекулы и совершенствование алгоритмов лабораторных исследований позволят вывести химическое заводнение на новый уровень, оптимизировать структуру и состав химических реагентов с учетом типа нефти и самых различных пластовых условий, и таким образом повысить нефтеотдачу пластов экономически эффективным способом.

Разработка и внедрение в практику специализированных лабораторий возможностей тандемной масс-спектрометрии в исследовании структуры ПАВ является актуальной задачей.

Ключевые слова: поверхностно-активное вещество, ПАВ-полимерное заводнение, физико-химические методы анализа, высокоэффективная жидкостная хроматография-масс-спектрометрия.

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений.....	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	9
1.1 Поверхностно активные вещества используются для повышения нефтеотдачи пластов.....	9
1.2 Параметры, влияющие на поведение поверхностно-активных веществ в пластовых условиях.	20
<i>Пластовая температура</i>	21
<i>Межфазное натяжение на границе раздела нефть-водная фаза</i> <i>поверхностно-активного вещества</i>	22
<i>Оптимальная соленость</i>	22
<i>Концентрация поверхностно-активных веществ при химическом</i> <i>заводнении</i>	24
<i>Соразтворители или соповерхностно-активные вещества</i>	27
<i>Разветвленные структуры поверхностно-активных веществ</i>	31
<i>Дзета-потенциал и водородный показатель</i>	32
<i>Двухвалентные ионы</i>	33
1.3 Физико-химические методы анализа поверхностно-активных веществ 33	
<i>Анализ поверхностно-активных веществ с помощью метода</i> <i>жидкостной хроматографии</i>	35
1.4 Трассерные исследования.....	42
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	46
2.1. Реактивы и оборудование	46
2.2. Объекты исследования.....	47

2.3 Методика исследования.....	48
Фазовый эксперимент	48
Измерение межфазного натяжения	49
Определение параметров солюбилизации	50
Эксперимент по адсорбции	51
Фильтрационные исследования	52
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	55
3.1 Высокоэффективная жидкостная хроматография в анализе продуктов синтеза поверхностно-активных веществ.....	55
3.2 Лабораторный анализ композиций поверхностно-активных веществ ...	59
3.3 Масс-спектрометрический метод в оценке динамической адсорбции разработанных композиций ПАВ	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	71
ВЫВОДЫ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	73

ВВЕДЕНИЕ

Считается, что только около одной трети нефти, присутствующей в известных коллекторах, является экономически извлекаемой с помощью устоявшейся технологии, то есть первичных способов извлечения, использующих давление газа и другие природные силы в пласте, и вторичного извлечения путем заводнения. Долгое время целью промышленности было развитие улучшенных процессов для увеличения общего восстановления. Тем не менее, низкие цены на нефть, которые преобладали с середины 1980-х годов до недавнего времени, не давали большого стимула для исследований по повышению нефтеотдачи особенно процессов с ПАВ со значительными первоначальными затратами на химикаты. Учитывая нынешние более высокие цены и сопровождающее их оживление интереса, представляется целесообразным пересмотреть понимание и перспективы химического заводнения [1].

Заводнение поверхностно-активным веществом имеет большой потенциал для улучшения нефтеотдачи в карбонатных коллекторах, поскольку поверхностно-активные вещества могут эффективно снижать межфазное натяжение между водой и нефтью до сверхнизкого значения и изменять смачиваемость по отношению к воде. Поскольку приблизительно 60% нефти в мире находится в карбонатных коллекторах, а применение EOR в резервуарах с такой литологией в полевых условиях весьма ограничено, в последнее время огромные усилия были предприняты в технологиях химического заводнения, связанных с поверхностно-активными веществами, для улучшения извлечения нефти из карбонатных нефтяных пластов.

Новые достижения в области химических методов повышения нефтеотдачи говорят о том, что наибольшей эффективностью обладают композиции ПАВ, образующие среднюю фазу, т.н. микроэмульсию, в условиях пласта, что обусловлено снижением межфазного натяжения до сверхнизких значений. Однако, при этом структура и состав ПАВ должны соответствовать определенным требованиям. В связи с этим актуальной

задачей является разработка и подбор эффективных химических реагентов для обоснования технологии ПАВ-полимерного заводнения [2].

Метод проб и ошибок для создания ПАВ с заданными свойствами является крайне неэффективным. По этой причине методы прогнозирования на основе математических моделей, связывающих свойства со структурой и строением молекул на основе известных экспериментальных данных, имеют большое практическое значение.

Разработка высокоэффективных новых классов ПАВ с использованием различных методов моделирования структуры молекулы и совершенствование алгоритмов лабораторных исследований позволят вывести химическое заводнение на новый уровень, оптимизировать структуру и состав химических реагентов с учетом типа нефти и самых различных пластовых условий, и таким образом повысить нефтеотдачу пластов экономически эффективным способом.

В процессе выполнения экспериментальной части работы будут проведены масштабные исследования по подбору композиции ПАВ для третичного метода добычи нефти. Применение тандемной масс-спектрометрии позволит реализовать современный подход для установления состава ПАВ.

В ведущей нефтяной компании (Shell) разработан алгоритм исследования состава композиции ПАВ для МУН. Современные тенденции исследования состава ПАВ основаны на возможностях новейших аналитических комплексов, какими являются гибридные приборы – хромато-масс-спектрометры. При этом можно определить индивидуальный состав компонентов в композиции ПАВ. Данный метод в Российской Федерации еще никогда не применялся.

Разработка и внедрение в практику специализированных лабораторий возможностей тандемной масс-спектрометрии в исследовании структуры ПАВ является актуальной задачей.

ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Глава изъята автором

ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Глава изъята автором

ГЛАВА III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Глава изъята автором

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Глава изъята автором

ВЫВОДЫ

Глава изъята автором

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Salter, S.J., Criteria for Surfactant Selection in Micellar Flooding / S.J. Salter, // SPE Journals presented at the SPE 1986 International Meeting on Petroleum Engineering held in Beijing, China March 17-20, 1986.
- 2 Negin C., Most common surfactants employed in chemical enhanced oil Recovery / C. Negin, S. Ali, Q. Xie // Petroleum, 3, 2017, 197-211.
- 3 Showell M. Powdered Detergents/ M. Showell. – Routledge, New York, USA, 2017.
- 4 Hirasaki G., Recent advances in surfactant EOR / G. Hirasaki, C.A. Miller, M. Puerto // SPE Journals, 16(04), 2011, 889-907.
- 5 Patent US4077471A 01.12.1976 R. Shupe D., Maddox J. Surfactant oil recovery process usable in high temperature, high salinity formations. Google Patents.
- 6 Oya M., Large decrease in acute aquatic toxicity of linear alkylbenzene sulfonate in hard water and seawater by adding adsorbent / M. Oya, Y. Takemoto, Y. Ishikawa // Journal of Oleo Science 57(1), 2008, 15-21.
- 7 Pena A.L.M.L., Experimental Evaluation of Linear Alkylbenzene Sulphonates for Enhanced Oil Recovery, / A.L.M.L. Pena // Centro de Investigação CEPSA, Instituto Superior Técnico, 2015.
- 8 Esmailzadeh P., Effect Of ZrO_2 Nanoparticles on the Interfacial Behavior of Surfactant Solutions at Airwater And n-Heptaneewater Interfaces / P. Esmailzadeh, N. Hosseinpour, A. Bahramian, [etc.] // Fluid Phase Equilibria 361(0), 2014, 289-295.
- 9 Szlendak S.M., Laboratory Investigation of Low-Tension-Gas Flooding for Improved Oil Recovery in Tight Formations / Szlendak S.M., Nguyen N.M., Nguyen Q.P. // SPE Journals, 18(05), 2013, 859-866.
- 10 Levitt D., Identification and Evaluation of High-Performance EOR Surfactants / D. Levitt, A. Jackson, C. Heinson, [etc.], // SPE Journals presented at

the SPE Symposium on Improved Oil Recovery, Society of Petroleum Engineers, Tulsa, Oklahoma, USA, 2006, 243-253

11 Srivastava M., A Systematic Study of Alkali Surfactant Gas Injection as an Enhanced Oil Recovery Technique / M. Srivastava, J. Zhang, Q.P. Nguyen, [etc.], // SPE Journals presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, USA Society of Petroleum Engineers, New Orleans, Louisiana, 2009.

12 Patent WO2000023548A1 20.10.1998 Kott K.L., Scheibel J.J., Severson R.G., Cripe T.A., Burckett-St L. Laundry detergents comprising modified alkylbenzene sulfonates. WIPO (PCT). Google Patents.

13 Adams, W.T., Surfactant Flooding Carbonate Reservoirs / W.T. Adams, V.H. Schievelbein // Journals of SPE Reservoir Engineering 2(4), 1987, 619-626.

14 Maerker, J.M. Surfactant Flood Process Design for Loudon / J.M. Maerker, W.W. Gale // Journals of SPE Reservoir Engineering, 7(01), 1992, 36-44.

15 Zhang, D.L., Favorable Attributes of Alkali-Surfactant-Polymer Flooding / D.L. Zhang, S. Liu, W. Yan, [etc.], // Journals of SPE presented at the SPE/DOE Symposium on Improved Oil Recovery, 22-26 April, Tulsa, Oklahoma, USA 13(1), 2006, 5-16.

16 Pope, G.A., A New Process for Manufacturing and Stabilizing High-Performance EOR Surfactants at Low Cost for High-Temperature, High-Salinity Oil Reservoirs / G.A. Pope, S. Weerasooriya, P.J. Liyenage, // Journals of SPE presented at the SPE Improved Oil Recovery Symposium, 24-28 April, Tulsa, Oklahoma, USA, 2010.

17 Shell, Enordet Surfactants for Enhanced oil Recovery // Shell Chemicals: Shell Company, 2015.

18 Sheng J.J. Status of surfactant EOR technology / J.J. Sheng // Journals of Petroleum 1(2), 2015, 97-105.

19 Karnanda W., Effect of Temperature, Pressure, Salinity, And Surfactant Concentration on IFT for Surfactant Flooding Optimization / W. Karnanda, M.S. Benzagouta, A. AlQuraishi, [etc.], // Arabian Journal of Geosciences, 6(9), 2013, 3535-3544.

- 20 Ye Z., The Effect of Temperature on the Interfacial Tension Between Crude Oil And Gemini Surfactant Solution / Z. Ye, F. Zhang, L. Han, [etc.], // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 322(1), 2008, 138-141.
- 21 P.C. Hiemenz. Principles of colloid and surface chemistry. - 3rd ed., rev. and expanded / P.C. Hiemenz, R. Rajagopalan. – Marcel Dekker, New York, 1997.
- 22 S.G. Udeagbara. Effect of Temperature and Impurities on Surface Tension of Crude Oil / Udeagbara S.G. – Boca Raton, Florida USA, 2010
- 23 D.B. Troy. Remington: the Science and Practice of Pharmacy / Troy D.B., Remington J.P., Beringer P. – Lippincott Williams & Wilkins, USA, 2006.
- 24 Bera A. Water Solubilization Capacity, Interfacial Compositions And Thermodynamic Parameters of Anionic And Cationic Microemulsions / A. Bera, K. Ojha, T. Kumar, [etc.], // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 404, 2012, 70-77.
- 25 Bera A. Screening of Microemulsion Properties for Application in Enhanced Oil Recovery / A. Bera, T. Kumar, K. Ojha, A. [etc.], // Fuel 121, 2014, 198-207.
- 26 Bera A. Interfacial Tension And Phase Behavior of Surfactant-Brine Oil System / A. Bera, K. Ojha, A. Mandal, [etc.], // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 383(1-3), 2011, 114-119.
- 27 Chou S.I. The Optimal Salinity Concept For Oil Displacement By Oil-external Microemulsions And Graded Salinity Slugs / S.I. Chou, D.O. Shah // Journal of Canadian Petroleum Technology 20(03), 1981, 83-91.
- 28 Hirasaki, G. J. Interpretation of the Change in Optimal Salinity With Overall Surfactant Concentration / G. J. Hirasaki // Journal of Petroleum Science and Engineering, 1982, 971-982.
- 29 Apaydin O.G. Surfactant Concentration and End Effects on Foam Flow in Porous Media / O.G. Apaydin, A.R. Kovscek, O.G. Apaydin, [etc.], // Transport in Porous Media 43(3), 2001, 511-536.

- 30 Nelson, R.C. Phase Relationships in Chemical Flooding / R.C. Nelson, G.A. Pope, *Journals of SPE* 18(5), 1978, 325–338.
- 31 Somasundaran, P. Mineral-Solution Equilibria in Sparingly Soluble Mineral Systems / P. Somasundaran, J. Ofori Amankonah, K. P. Ananthapadmabhan // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 1985, 15, 309–333.
- 32 Tabatabal, A. Reducing Surfactant Adsorption in Carbonate Reservoirs / A. Tabatabal, M.V. Gonzalez, J.H. Harwell, [etc.], // *Journals of SPE Reservoir Engineering* 8(2), 1993, 117-122.
- 33 Zhang, R. Advances In Adsorption of Surfactants And their Mixtures at Solid/Solution Interfaces / R. Zhang, P. Somasundaran // *Advances in Colloid and Interface Science*, 123–126, 2006, 213-229.
- 34 Novosad, J. Laboratory Evaluation Of Lignosulfonates As Sacrificial Adsorbates In Surfactant Flooding / J. Novosad // *Journal of Canadian Petroleum Technology* 23(3), 1984, 24-28.
- 35 Yang, C. Reduction Of Surfactant Retention With Polyphosphates In Surfactants Flooding Process / C. Yang, B. Bazin, T. Labrid, T., [etc.], // *Journals of SPE presented at the International Meeting on Petroleum Engineering*, 1-4 November, Tianjin, China, 1988.
- 36 Gupta, R. Temperature Effects on Surfactant-Aided Imbibition Into Fractured Carbonates / R. Gupta, K.K. Mohanty // *Journals of SPE* 15(3), 2010, 588-597.
- 37 Lorenz, P.B. Guidelines Help Select Reservoirs for NaHCO₃ EOR / P.B. Lorenz, D.A. Pem // *The Oil & Gas Journal* 87(37), 1989, 53-57.
- 38 French, T.R. Design and Optimization of Alkaline Flooding Formulations / T.R. French, T.E. Burchfield // *Journals of SPE presented at the SPE/DOE Enhanced Oil Recovery Symposium*, 22-25 April, Tulsa, Oklahoma, 1990, 615-626.
- 39 Hirasaki G. J. Recent Advances in Surfactant EOR / G. J. Hirasaki, C.A. Miller, M. Puerto // *Journals of SPE presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Denver*, 21-24 September, Colorado, USA, 2008.

- 40 Salter S.J. The Influence Of Type And Amount Of Alcohol On Surfactant-Oil-Brine Phase Behavior And Properties / S.J. Salter // Journals of SPE presented at the SPE Annual Fall Technical Conference and Exhibition, 9-12 October, Denver, Colorado, 1977.
- 41 Reed R.L. Some physicochemical aspects of microemulsion flooding: a review. - Academic Press, New York, 1977.
- 42 Dwarakanath, V. Using Co-solvents to Provide Gradients and Improve Oil Recovery During Chemical Flooding in a Light Oil Reservoir / V. Dwarakanath, T. Chaturvedi, A.C. Jackson, [etc.], // Journals of SPE presented at the SPE Symposium on Improved Oil Recovery, 20-23 April, Tulsa, Oklahoma, USA, 2008.
- 43 Yang, H. Low-Cost, High-Performance Chemicals for Enhanced Oil Recovery / H. Yang, P. Liyanage, S. Solairaj, [etc.], // Journals of SPE presented at the SPE Improved Oil Recovery Symposium, 24-28 April, Tulsa, Oklahoma, USA, 2010.
- 44 Miller, C.A. Behavior of Dilute Lamellar Liquid-Crystalline Phases / C.A. Miller, O. Ghosh, W.J. Benton // Colloids and Surfaces 19(2-3), 1986, 197-223.
- 45 Bourrel, M. Microemulsions and Related Systems / Bourrel, M., Schechter, R.S. - Marcel Dekker, New York, 1988.
- 46 Zhao, P. Development of High-Performance Surfactants for Difficult Oils / P. Zhao, A.C. Jackson, C. Britton, [etc.], // Journals of SPE presented at the SPE Symposium on Improved Oil Recovery, 20-23 April, Tulsa, Oklahoma, USA 2008.
- 47 Wade, W.H. Interfacial Tension and Phase Behavior of Surfactant Systems / W.H. Wade, James C. Morgan, R.S. Schechter, [etc.], // Journals of SPE 18(04) 1978, 242-252.
- 48 Hsieh, W.C. The Effect of Chain Length of Oil and Alcohol As Well as Surfactant to Alcohol Ratio on the Solubilization, Phase Behavior and Interfacial Tension of Oil/Brine/Surfactant/Alcohol Systems / W.C. Hsieh, D.O. Shah // Journals of SPE presented at the SPE International Oilfield and Geothermal Chemistry Symposium, 27-28 June, La Jolla, California, 1977, 45-56.
- 49 Flaaten, A.K. A Systematic Laboratory Approach to Low-Cost, High-

Performance Chemical Flooding / A.K. Flaaten, Q.P. Nguyen, G.A. Pope, [etc.], // Journals of SPE Reservoir Evaluation & Engineering 12(05), 2009, 713-723.

50 Abe M. Microemulsion Formation with Branched Tail Polyoxyethylene Sulfonate Surfactants / M. Abe, D. Schechter, R.S. Schechter, [etc.], // Journal of Colloid and Interface Science, 114(2), 1986, 342-356.

51 Wormuth K.R. Phase Behavior of Branched Surfactants in Oil And Water / K.R. Wormuth, S. Zushma // Langmuir, 7(10), 1991, 2048-2053.

52 Behrens E.J. Investigation of Loss of Surfactants during Enhanced Oil Recovery Applications - Adsorption of Surfactants onto Clay Materials / E.J. Behrens // Norwegian University of Technology and Science: Norwegian University of Technology and Science, 2013.

53 Choi K.-O. Effect of aqueous pH and electrolyte concentration on structure, stability and flow behavior of non-ionic surfactant based solid lipid nanoparticles / K.-O. Choi, N.P. Aditya, S. Ko // Food Chemistry, 147, 2014, 239-244.

54 Nelson R.C. Further Studies on Phase Relationships in Chemical Flooding / R.C. Nelson // Surface Phenomena in Enhanced Oil Recovery, 1981, 73-104.

55 Gupta S.P. Dispersive Mixing Effects on the Sloss Field Micellar System / S.P. Gupta // Society of Petroleum Engineers Journal, 22(04), 1982, 481-492.

56 Glover C. Surfactant Phase Behavior and Retention in Porous Media / C. Glover, M. Puerto, J. Maerker, [etc.], // Society of Petroleum Engineers Journal 19(03), 1979, 183-193.

57 Zhang J. Mechanisms of Enhanced Natural Imbibition With Novel Chemicals / J. Zhang, Q.P. Nguyen, A. Flaaten, [etc.], // Journal of SPE Reservoir Evaluation & Engineering 12(06), 2009, 912-920.

58 Carminati G. Application of ¹³C NMR to the Identification of Surfactants in Mixture / G. Carminati, L. Cavalli, F. Buosi // Journal of the American Oil Chemists' Society, 65(4), 1988, 669-677.

59 Thurman E. M. Determination of Alkylbenzene Surfactants in Groundwater Using Macroreticular Resins And Carbon-13 Nuclear Magnetic

Resonance Spectrometry / E. M. Thurman, T. Willoughby, L. B. Barber, [etc.], // Analytical Chemistry, 59(14), 1987, 1798-1802.

60 Kolpin D.W. Response to Comment on “Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater Contaminants in U.S. Streams, 1999–2000: A National Reconnaissance” / D.W. Kolpin, E.T. Furlong, M.T. Meyer, [etc.], // Environmental Science & Technology 36(18), 2002, 4004.

61 González S. Advanced Liquid Chromatography-Mass Spectrometry (LC-MS) Methods Applied to Wastewater Removal And the Fate of Surfactants in the Environment / S. González, D. Barceló, M. Petrovic // TrAC Trends in Analytical Chemistry, 26(2), 2007, 116-124.

62 Barceltj D. Emerging Organic Pollutants in Waste Waters and Sludge / M. Petrovic, D. Barceltj, D. Barceltj. – Springer-Verlag, Berlin- Heidelberg, Germany, 2004.

63 Knepper T.P. Analysis and Fate of Surfactants in the Aquatic Environment, Volume 40, 1st Edition / T.P. Knepper, P. de Voogt, D. Barcelh. – Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands, 2003.

64 Ferguson P. L. Determination of Steroid Estrogens in Wastewater by Immunoaffinity Extraction Coupled with HPLC–Electrospray-MS / P. L. Ferguson, C. R. Iden, A. E. McElroy, [etc.], // Analytical Chemistry 73(16), 2001, 3890-3895.

65 Petrović M. Determination of Anionic and Nonionic Surfactants, Their Degradation Products, and Endocrine-Disrupting Compounds in Sewage Sludge by Liquid Chromatography/Mass Spectrometry / M. Petrović, D. Barceló // Analytical Chemistry 72(19), 2000, 4560-4567.

66 Berge A. Development of a Multiple-Class Analytical Method Based on the Use of Synthetic Matrices for the Simultaneous Determination of Commonly Used Commercial Surfactants in Wastewater by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry / A.Berge, B. Giroud, L.Wiest, [etc.], // Journal of Chromatography A1450, 2016, 64-75.

67 Findenegg G.H. Adsorption Isotherms of Nonionic Surfactants SBA-15 Measured by Micro-Column Chromatography / G.H. Findenegg, A.Y. Eltekov // *Journal of Chromatography A* 1150(1-2), 2007, 236-240.

68 Nair L. M. Recent Developments in Surfactant Analysis by Ion Chromatography / L. M. Nair, R. Saari-Nordhaus // *Journal of Chromatography A* 804(1-2), 1998, 233-239.

69 Deans H.A. Single-Well Tracer Test in Complex Pore Systems / H.A. Deans, C.T. Carlisle // *Journals of SPE presented at the SPE Enhanced Oil Recovery Symposium*, 20-23 April, Tulsa, Oklahoma, 1986, 5 - 11.

70 Mechergui A. Design, Operation, and Laboratory Work for Single-Well Tracer Test Campaign in Handil Field Indonesia, / A. Mechergui, N. Agenet, C. Romero, [etc.] // *SPE Improved Oil Recovery Symposium*. - Kuala Lumpur, Malaysia, 2-4 July 2013. - P. 201-214.

71 Nguyen H. Study of Use of Tracers in Determination of Residual Oil Saturation, / H. Nguyen // *the Vietnam Atomic Energy Commission (VAEC)*. - Vietnam, 2001-2002 - P. 81-89.

72 Novosad J., Maini B., Batycky J. "A Study of Surfactant Flooding at High Salinity and Hardness". 1982. P. 833 - 839.

73 Sung M., Chen B.H. Using Aliphatic Alcohols as Gaseous Tracers in Determination of Water Contents And Air-Water Interfacial Areas on Unsaturated Sands // *Journal of Contaminant Hydrology* 126(3-4), 2011, 226-234.

74 Solairaj, S. New Method of Predicting Optimum Surfactant Structure for EOR / S. Solairaj, B. Tech // Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Austin in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Engineering. The University of Texas at Austin, December, 2011.

75 Flaaten, A.K. Experimental Study of Microemulsion Characterization and Optimization in Enhanced Oil Recovery: A Design Approach for Reservoirs with High Salinity and Hardness. M.S. Thesis. / A.K. Flaaten. The University of Texas at Austin, December, 2007.

76 Волокитин Я.Е. Исследование адсорбционных процессов при СП-заводнении для условий Западно-Салымского месторождения / Я.Е.Волокитин, И.Н.Кольцов, М.Я.Евсеева и др. // Journal of SPE presented at the SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition, 16-18 October, Moscow, Russia, 2014.

77. Thomas, M. M. Adsorption of Organic Compounds on Carbonate Minerals. 3. Influence on Dissolution Rates / M.M.Thomas, J.A.Clouse, J.M. Longo // Chemical Geology, 109(1-4), 1993, 227-237.