

Д. А. Манауре (инж.)^{1,2}, А. Г. Бадамшин (м.н.с.)³, С. Р. Алимбекова (к.т.н., с.н.с.)¹,
Н. Н. Михайлова (к.х.н., доц.)⁴, Ф. Г. Ишмуратов (н.с.)¹

СИНТЕЗ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

¹ Уфимский государственный авиационный технический университет, кафедра общей химии
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12; e-mail: ms.sofia.al@gmail.com

² Venezuelan Institute of Scientific Researches, Chemistry of the Metals of Transition
Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela; e-mail: manauredaniel@gmail.com

³ Уфимский Институт химии УФИЦ РАН, лаборатория биоорганической химии и катализа
450054, г. Уфа, пр. Октября, д. 69; тел. (347) 2355677, e-mail: alexander.badamshin@gmail.com

⁴ Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра общей, аналитической и прикладной химии

450062, г. Уфа, Космонавтов, 1; тел. (347) 2420935, e-mail: oax-ugntu@mail.ru

D. A. Manaure^{1,2}, A. G. Badamshin³, S. R. Alimbekova¹, N. N. Mikhailova⁴, F. G. Ishmuratov¹

SYNTHESIS OF SURFACTANTS AND THEIR INFLUENCE ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WATER-OIL EMULSION

¹ Ufa State Aviation Technical University

12, Karla Marksa Str., 450008, Ufa, Russia; e-mail: ms.sofia.al@gmail.com

² Venezuelan Institute of Scientific Researches; e-mail: manauredaniel@gmail.com
Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela;

³ Ufa Institute of Chemistry UFRS RAS; ph. (347) 2355677, e-mail: alexander.badamshin@gmail.com
69, Prospekt Oktyabrya Str., 450054, Ufa, Russia;

⁴ Ufa State Petroleum Technological University

1, Kosmonavtov Str., 450062, Ufa, Russia; ph. (347) 2420935, e-mail: oax-ugntu@mail.ru

Разработаны методы получения поверхностно-активных веществ на основе высших карбоновых кислот, этаноламинов и неолов АФ 9-8 и АФ 9-10. Взаимодействием эфиров карбоновых кислот с моноэтаноламином и триэтаноламином в присутствии каталитических количеств цеолитов, модифицированных борной кислотой, получены амиды и эфиры карбоновых кислот с выходами 89–94 %. Присоединением неолола АФ 9-8 к акрилонитрилу в условиях реакции Михаэля при 0 °С в присутствии КОН и последующим гидролизом образующегося нитрила под действием HCl синтезирована 1-(4-нонилфеноксид)-3,6,9,12,15,18,21,24-октаоксагептазан-27-овая кислота. Установлено, что применение неолола АФ 9-10 в 1%-ной концентрации приводит к 4-х кратному снижению эффективной вязкости водонефтяной эмульсии, а низкочастотное электромагнитное поле ингибирует его действие.

Surfactants preparation methods based on higher carboxylic acids, ethanolamines and neonols AF 9-8 and AF 9-10, have been generated. The interaction of esters of carboxylic acids with monoethanolamine and triethanolamine in the presence of catalytic amounts of zeolites modified with boronic acid yielded amides and esters of carboxylic acids with yields of 89–94 %. The addition of neonol AF 9-8 to acrylonitrile under the conditions of the Michael reaction at 0 °C in the presence of KOH and subsequent hydrolysis of the resulting nitrile under the action of HCl synthesized 1-(4-nonylphenoxy)-3,6,9,12,15,18,21,24-octaoxaheptazan-27-oic acid. It was found out that the use of neonol AF 9-10 in 1% concentration leads to a 4-times decrease of the effective viscosity of the water-oil emulsion, while a low-frequency electromagnetic field inhibits its effect.

Дата поступления 25.07.18

Ключевые слова: водонефтяная эмульсия; жирные кислоты; неонол; поверхностно-активные вещества; синтез; цеолиты; эффективная вязкость; электромагнитное поле.

Key words: effective viscosity; electromagnetic field fatty acids; neonol; surfactants; synthesis; water-oil emulsion; zeolites.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России (задание № 4.2703.2017/ПЧ) по теме № АААА-А17-1170011910021-8 и финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект 14-33-00022).

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia (task No. 4.2703.2017 / PC) on the topic No. АААА-А17-1170011910021-8 and financially supported by a grant from the Russian Science Foundation (project 14-33-00022).

Добыча высоковязких нефтей требует разработки новых технологий и реагентов, обеспечивающих течение многофазного потока и снижение вязкости сырой нефти, представляющей собой водонефтяную эмульсию (ВНЭ), которая стабилизирована асфальтенами, смолами, нафтеновыми кислотами и другими соединениями, содержащимися в нефти¹⁻³.

Одним из перспективных, эффективных и технологичных способов добычи высоковязких нефтей является применение поверхностно-активных веществ (ПАВ) для улучшения их реологических свойств⁴⁻⁶.

В связи с этим предложены новые методы получения поверхностно-активных веществ - N-(2-гидроксиэтил)амида стеариновой кислоты, N-(2-гидроксиэтил)амида олеиновой кислоты, 2-[бис(2-гидроксиэтил)амино]этилового эфира стеариновой кислоты, 2-[бис(2-гидроксиэтил)амино]этилового эфира олеиновой кислоты, 1-(4-нонилфенокси)-3,6,9,12,15,18,21,24-октаоксагептазан-27-нитрила, 1-(4-нонилфенокси)-3,6,9,12,15,18,21,24-октаоксагептазан-27-овой кислоты и изучено их влияние на эффективную вязкость водонефтяной эмульсии.

В настоящей работе разработаны новые методы получения на основе доступных реагентов: моноэтаноламина, триэтаноламина, акрилонитрила, эфиров стеариновой, олеиновой кислот и неонолов АФ 9-8 и АФ 9-10 полифун-

кциональных поверхностно-активных веществ, содержащих этаноламидный, 2-гидроксиэтиламиноэфирный и полиоксиэтиленкарбоксийный фрагменты, и изучено их влияние на реологические свойства водонефтяной эмульсии месторождения Узень (Казахстан) с целью разработки способа регулирования ее вязкости.

Известен ряд способов получения амидов и эфиров жирных кислот, являющихся поверхностно-активными веществами, которые получают, как правило, термическим взаимодействием кислот или их эфиров с аминами при высокой температуре (схема 1)⁷⁻⁹.

Нами установлено, что катализируемое взаимодействие метиловых эфиров жирных кислот **1a, б** с моноэтаноламином и триэтаноламином в мольном соотношении 1:1.1 в течение 7 ч при 115–120 °С в присутствии алюмосиликатных цеолитов, модифицированных борной кислотой, приводит к образованию N-(2-гидроксиэтил)амида стеариновой кислоты **2a**, N-(2-гидроксиэтил)амида олеиновой кислоты **2б**, 2-[бис(2-гидроксиэтил)амино]этилового эфира стеариновой кислоты **3a** и 2-[бис(2-гидроксиэтил)амино]этилового эфира олеиновой кислоты **3б** с выходами 91, 89, 93 и 95 % соответственно. При проведении данной реакции в термических условиях (115–120 °С) выход целевых продуктов не превышает 54%.

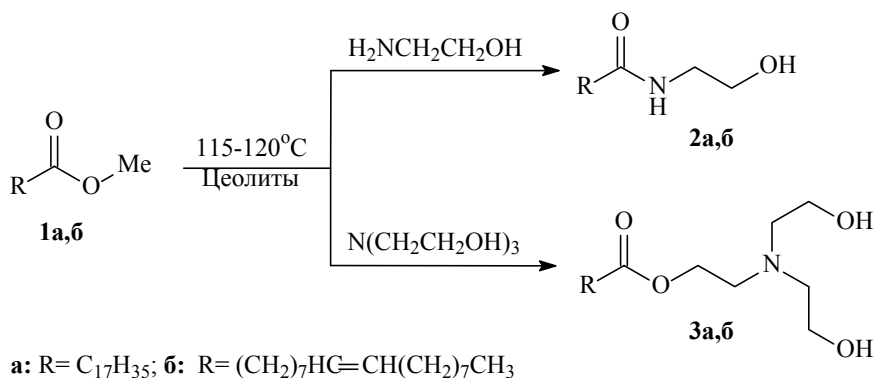


Схема 1

Одним из видов ПАВ, способных оказывать влияние на реологические свойства водонефтяных эмульсий, являются полиоксиэтилированные алкилфенолы (неонолы) ^{4,10}. В литературе описан ряд ПАВ, образующихся в результате конденсации оксиэтилированного изонилфенола с натриевой солью монохлоруксусной кислоты. Однако отсутствуют данные по синтезу поверхностно-активных веществ, содержащих в своей структуре, наряду с длинноцепочечным оксиэтилированным изонилфенольным радикалом, анионный фрагмент в виде пропионовой кислоты. В связи с этим мы предложили двухстадийный метод синтеза 1-(4-нонилфенокси)-3,6,9,12,15,18,21,24-октаоксагептазан-27-овой кислоты (**4**).

1-(4-Нонилфенокси)-3,6,9,12,15,18,21,24-октаоксагептазан-27-нитрил (**5**) получали взаимодействием неонола АФ 9-8 **4** с акрилонитрилом при 0 °С в условиях реакции Михаэля в присутствии КОН. Гидролиз нитрила **5** под действием концентрированной HCl приводит к образованию 1-(4-нонилфенокси)-3,6,9,12,15,18,21,24-октаоксагептазан-27-овой кислоты (**6**) с выходом 85% (схема 2).

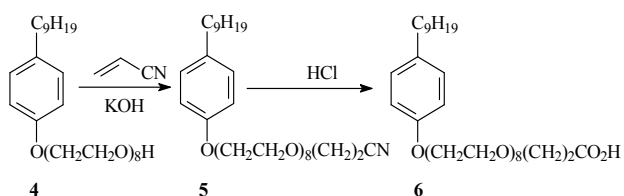


Схема 2.

Синтезированные ПАВ **5** и **6** были выделены с помощью препаративной колоночной хроматографии на SiO₂ и охарактеризованы

спектрами ЯМР ¹H и ¹³C. В ПМР-спектре соединения **6** наблюдаются сигналы, соответствующие основным группам протонов: изонильный радикал при 0.73 и 1.09 м.д., оксиэтильный фрагмент при 3.54 м.д. и ароматические протоны при 6.73 и 7.07 м.д.

С целью определения возможности использования полученных соединений **2a,б**, **3a,б**, **5**, **6** и неонола АФ 9-10 в качестве нефтепромысловых реагентов изучено их влияние на реологические свойства водонефтяной эмульсии месторождения Узень (Казахстан).

Исследование влияния раствора ПАВ при 1%-ной концентрации в водонефтяной эмульсии показало, что применение соединений **2a,б** и **3a,б**, содержащих моноэтаноламинные и триэтаноламинные фрагменты, не перспективно, так как способствует увеличению эффективной вязкости сырой нефти. При выделении соединений **5** и **6** обнаружили, что они термически не стабильны и разлагаются по ретро-реакции Михаэля. Наиболее эффективным оказалось применение неонола АФ 9-10, который способствовал 4-кратному снижению эффективной вязкости водонефтяной эмульсии (рис. 1).

Известно, что при наложении магнитного поля на водонефтяную эмульсию наблюдается разрушение дисперсной структуры за счет разрыва водородных связей слабых диполей парафинов и переориентации спинов парамагнитных частиц, что приводит к изменению вязкостных свойств нефти и оказывает влияние на солеотложение карбоната кальция ^{11,12}.

Весьма вероятно, было ожидать, что при применении магнитного поля одновременно с

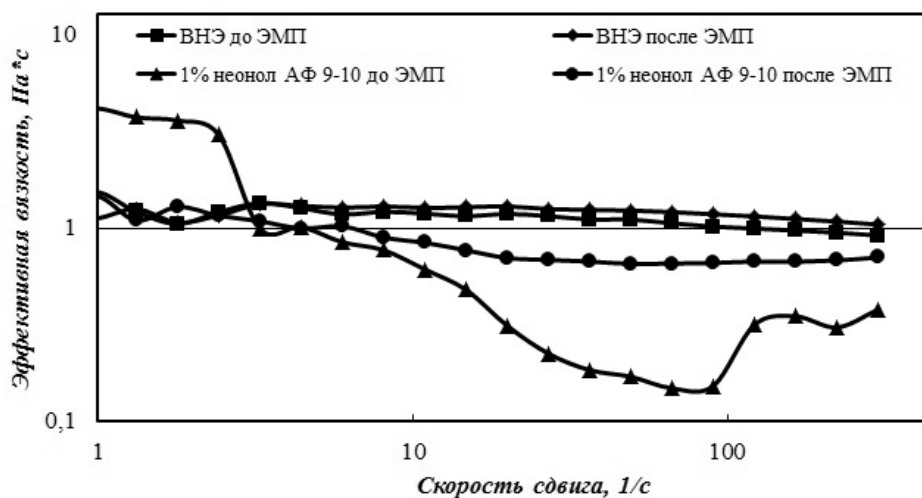


Рис. 1. Зависимость эффективной вязкости ВНЭ от скорости сдвига без и под действием электромагнитного поля, при комнатной температуре, в отсутствие и в присутствии 1% неонола АФ 9-10: μ – эффективная вязкость (Па·с), γ – скорость сдвига (1/с).

неонолом АФ 9-10 будет наблюдаться синергетический эффект, приводящий к существенно уменьшению эффективной вязкости водонефтяной эмульсии. Однако нами обнаружено, что воздействие электромагнитного поля (200 кГц) практически не оказывает влияния на эффективную вязкость сырой нефти и практически полностью ингибирует действие неонола АФ 9-10 на реологические свойства ВНЭ (рис. 1).

Вероятно, это происходит в результате разрушения пространственных низкоэнергетических структур неонола АФ 9-10 с участием смоло-асфальтеновых частиц и кристаллов высокомолекулярных парафиновых углеводородов на границе раздела фаз, образование которых приводит к снижению вязкости нефти ¹.

Данный эффект может найти практическое применение при деэмульсации водонефтяных эмульсий.

Экспериментальная часть

В работе использовали метилолеат (AcrosOrganics), стеариновую кислоту («Химреактивснаб», марки «ч»), молекулярные сита 3А (Acros Organics), неонолы АФ 9-8 (ОАО «Нижекамскнефтехим»), АФ 9-10 (ОАО «Нижекамскнефтехим») и водонефтяную эмульсию месторождения Узень (Казахстан). Метилловый эфир стеариновой кислоты получен по стандартной методике ¹³. Цеолиты, содержащие борную кислоту, получали добавлением при перемешивании 2 мл 5%-ного водного раствора H_3BO_3 к 9.9 г цеолитов и последующей сушке при давлении 10 мм рт. ст. и температуре 120 °С.

Физико-химические свойства водонефтяной эмульсии: плотность 0.9491 г/см³ при 20 °С; вязкость 1450 мПа·с при 20 °С; определенная по методу Дина-Старка обводненность 28%. Компонентный состав: парафины – 14.9%, асфальтены – 0.1%, смолы – 1.6%.

Спектры ЯМР регистрировали на спектрометре Bruker AM-300 [300.13 (¹H), 75.47 (¹³C) МГц] и Bruker Avance-III 500 [500.13 (¹H), 125.47 (¹³C) МГц] при 298 К в CDCl₃, CD₃OD-d₄, внутренний стандарт Me₄Si. ИК спектры снимали на приборе «Shimadzu IR Prestige-21» в тонком слое или вазелиновом масле. Масс-спектры химической ионизации при атмосферном давлении (ХИАД) получали на квадрупольном жидкостном хромато-масс-спектрометре LCMS-2010 EV (Shimadzu) (шприцевой ввод образцов, раствор в ацетонитриле, элюент – ацетонитрил–вода в соот-

ношении 95:5, скорость потока 0.1 мл/мин) в режиме регистрации положительных ионов при потенциале капилляра 4.5 кВ. Температура капилляра интерфейса 250 °С, температура нагревателя 200 °С, температура испарителя 230 °С. Скорость потока небулизирующего (распыляющего) газа (азот) 2.5 л/мин. ГЖХ-анализ выполняли на хроматографе «Chrom-5» с пламенно-ионизационным детектором (колонка из нержавеющей стали 1200×5 мм, 5% SE-30 на Inerton N-AW DMCS (0.125-0.160 мм) или на хроматографе GC-2014 Shimadzu с пламенно-ионизационным детектором на капиллярной колонке 30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм (фаза HP-FAAP), температурно-программированный режим 80–220 °С, скорость нагрева 10 °С/мин, газ-носитель – гелий.

Исследуемые вещества добавляли в количестве 1% к водонефтяной эмульсии, перемешивали и изучали вязкость и реологические характеристики ВНЭ на ротационном вискозиметре Haake Viscotester iQ, представляющем собой аппаратно-программный комплекс, состоящий из измерительного устройства (ротационный вискозиметр) с цифровым интерфейсом и персонального компьютера, и снабженном программным обеспечением для управления измерительным устройством и обработки данных. Для изучаемых образцов применяли сдвиговый тест, при котором определялось напряжение сдвига и вязкость в зависимости от скорости сдвига в диапазоне от 1 до 300 с⁻¹. Каждый эксперимент проводили по три раза.

Влияние электромагнитного поля на эффективную вязкость изучали при частоте электромагнитного поля 200 кГц на установке «ГЭМИ-1» (НИИ ТС «Пилот»), индуктор которой представляет собой соленоид с внутренним диаметром 55 мм. Напряжение, подаваемое на индуктор – 29 В, индуктивность – 1.4 мГн, тип сигнала прямоугольный.

Общая методика получения амидов и эфиров карбоновых кислот 2а,б и 3а,б. К 10 ммоль метилового эфира кислоты **1а,б** прибавляли 0.11 ммоль этаноламина или триэтанолamina и 1.0 г цеолитов, содержащих 0.01 г борной кислоты. Реакционную массу перемешивали 7 ч при 115–120 °С, отбирая отгоняющийся метиловый спирт с помощью насадки Дина-Старка. Прибавляли 10 мл толуола, цеолиты отфильтровывали, растворитель удаляли при пониженном давлении.

N-(2-Гидроксиэтил)амид стеариновой кислоты 2а. Выход 2.98 г (91%).

N-(2-Гидроксиэтил)амидолеиновой кислоты 2б. Выход 2.9 г (89%).

2-[Бис(2-гидроксиэтил)амино]этиловый эфир стеариновой кислоты 3а. Выход 3.86 г (93%).

2-[Бис(2-гидроксиэтил)амино]этиловый эфир олеиновой кислоты 3б. Выход 3.88 г (94%).

Физико-химические константы соединений **2а,б** и **3а,б** соответствовали литературным данным^{14–17}.

1-(4-Нонилфенокси)-3,6,9,12,15,18,21,24-октаоксагептазан-27-нитрил (5). К раствору 2.288 г (4 ммоль) неолола АФ 9-8 в 10 мл акрилонитрила, охлажденного до $-5-0$ °С, добавили 10 мг (0.18 ммоль) КОН. Смесь перемешивали в течение 1 ч. Добавили 18 мг (0.18 ммоль) 37%-ный раствор HCl и перемешивали в течение 10 мин. Растворитель удалили при пониженном давлении. Остаток растворили в 50 мл CH_2Cl_2 и отфильтровали через бумажный фильтр «синяя лента». Фильтрат упарили при пониженном давлении. Выход 2.46 г (98%). Темно-желтое маслообразное вещество. ИК спектр (cm^{-1}): 834, 951, 1112, 1250,

1457, 1512, 1610 (C_6H_4), 2237 ($\text{C}\equiv\text{N}$) 2873–2971. Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), м.д.: 0.75 м, 1.11 м, 3.67 м, 6.81 м (2H, C_6H_4), 7.11 м (2H, C_6H_4). Масс-спектр, m/z : 626 $[\text{M}+\text{H}]^+$.

1-(4-Нонилфенокси)-3,6,9,12,15,18,21,24-октаоксагептазан-27-овая кислота (6). К 0.884 г (1.4 ммоль) нитрила **5** добавили 0.5 мл (5.6 ммоль) 37%-ного раствора HCl. Смесь перемешивали при $48-56$ °С в течение 7 ч и выдерживали при комнатной температуре 12 ч, после чего добавили 50 мл бензола и кипятили с насадкой Дина-Старка для удаления воды в течение 2 ч. Растворитель удалили при пониженном давлении. Добавили 50 мл Et_2O и отфильтровали. Фильтрат упарили. Выход 0.77 г (85%), темно-желтое маслообразное вещество. ИК спектр (cm^{-1}): 833, 952, 1110, 1250, 1293, 1351, 1457, 1512, 1672 (C_6H_4), 1728 (CO_2), 2872–2986, 3194–3600. Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), м.д.: 0.73 м, 1.09 м, 3.54 м, 6.73 м (2H, C_6H_4), 7.07 м (2H, C_6H_4). Масс-спектр, m/z : 644 M^+ .

Литература

1. Задымова Н. М., Скворцова З. Н., Траскин В. Ю. и др. Тяжелая нефть как эмульсия: состав, структура и реологические свойства // Коллоидный журнал. – 2016. – Т. 78, №6. – С. 675–687.
2. Ганеева Ю. М., Юсупова Т. Н., Романов Г. В. Асфальтеновые наноагрегаты: структура, фазовые превращения, влияние на свойства нефтяных систем // Успехи химии. – 2011. – Т. 80, №10. – С. 1034–1050.
3. Гумеров К.О., Зейгман Ю.В., Гумеров О.А. Исследование физических свойств водонефтяных дисперсных систем в процессе их движения через погружные центробежные насосы // Нефтегазовое дело. – 2013. – Т. 11, no.4. – С. 73–76.
4. Atta A. M., Abdullah M. M. S., Al-Lohedan H. A., Ezzat A. O. Demulsification of heavy crude oil using new nonionic cardanol surfactants // J. Mol. Liquids. – 2018. – V. 252, №2. – Pp. 311–320.
5. Yakubova S.G., Manaure D.A., Machado R.A., Bakhtizin R.N., Khasanova G.I., Voloshin A.I., Sinyashin O.G., Dokichev V.A. Effect of oxyethylated isononylphenol (neonol) on viscosity characteristics of water-oil emulsions // Petroleum Science and Technology. – 2018. – V. 36, №17. – Pp. 1389–1395.
6. Латыпов А. Г. Повышение эффективности физико-химического воздействия на нефтеводогазонасыщенный пласт с помощью нефте-, водо- и нефтеводорастворимых ПАВ // Нефтегазовое дело. – 2011. – Т. 9, №4. – С. 40–46.
7. Григорьева Н.Г., Сулейманова А.М., Аглиуллин М.Р., Кутепов Б.И. Синтез сложных эфиров карбоновых кислот в присутствии микро- и мезопористых алюмосиликатов // ЖПХ. – 2014. – Т. 87, №6. – С. 767–774.
8. Ghumare A.K., Pawar B.V., Bhagwat S.S.

References

1. Zadyмова N.M., Skvortsova Z.N., Traskin V.Y., Yampol'skaya G.P., Kulichikhin V.G., Mironova M.V., Frenkin E.I., Malkin A.Y. [Heavy oil as an emulsion: composition, structure, and rheological properties]. *Colloid Journal*, 2016, vol.78, no.6, pp.735–746.
2. Ganeeva Yu. M., Yusupova T. N., Romanov G. V. [Asphaltene nano-aggregates: structure, phase transitions and effect on petroleum systems]. *Russ. Chem. Rev.*, 2011, vol.80, no.10, pp.993–1008.
3. Gumerov K.O., Zeigman Yu.V., Gumerov O.A. *Issledovaniye fizicheskikh svoystv vodoneftyanykh dispersnykh sistem v protsesse ikh dvizheniya cherez pogruznyye tsentrobezhnyye nasosy* [Oil-in-water disperse systems study in the process of their flow through submersible centrifugal pumps]. *Neftgazovoe delo* [Oil and gas business], 2013, vol.11, no.4, pp.73–76.
4. Atta A. M., Abdullah M. M. S., Al-Lohedan H. A., Ezzat A. O. [Demulsification of heavy crude oil using new nonionic cardanol surfactants]. *J. Mol. Liquids*, 2018, vol.252, no.2, pp.311–320.
5. Yakubova S.G., Manaure D.A., Machado R.A., Bakhtizin R.N., Khasanova G.I., Voloshin A.I., Sinyashin O.G., Dokichev V.A. [Effect of oxyethylated isononylphenol (neonol) on viscosity characteristics of water-oil emulsions]. *Petroleum Science and Technology*, 2018, vol.36, no.17, pp.1389–1395.
6. Latypov A.G. *Povysheniye effektivnosti fiziko-khimicheskogo vozdeystviya na neftevodogazonasyschennyi plast s pomoshch'yu nefte-, vodo- i neftevodorastvorimyykh PAV* [Improving physical and chemical effects on gas, oil and water saturated reservoir with oil-soluble, water-

- Synthesis and antibacterial activity of novel amido-amine-based cationic gemini surfactants // *J. Surfactant Deterg.*— 2013.— V.16.— Pp.85-93.
9. Патент № 2599575, РФ. Способ получения амидов жирных кислот / Титун А.В., Халезов А.А., Пономарев В.Г. // Б.И.— 2016.— №28.
 10. Lakatos I., Lakatos-Szabo J. Effect of ethoxylated nonyl-phenols on interfacial rheological properties of oil/water systems // *Colloid and Polymer Science.*— 1997.— V.275, №5.— Pp.493-501.
 11. Evdokimov I.N., Kornishin K.A. Apparent Disaggregation of Colloids in a Magnetically Treated Crude Oil // *Energy Fuels.*— 2009.— V.23, №8.— Pp.4016-4020.
 12. Докичев В.А., Ишмуратов Ф.Г., Алимбекова С.Р., Мусин Ф.Ф., Кулешов С.П., Кадыров Р.Ф. О влиянии низкочастотного электромагнитного поля на кристаллизацию карбоната кальция // *Баш. хим. ж.*— 2017.— Т.24, №4.— С.3-7.
 13. Беккер Х., Беккерт Р., Бергер В., Гевальд К., Генц Ф., Глух Р., Домшке Г., Затер Э., Майер Р., Мец П., Мюллер К., Пафель Д., Фангхэнель Э., Фауст Ю., Фишер М., Хабихер В., Шветлик К., Шмидт Г., Шольберг К., Цеппенфельд Г. *Органикум*. Т. 2.— М.: Мир, 1979.— 447 с.
 14. Butler R.N., O'Regan C.B., Moynihan P. Reactions of fatty acids with amines. Part 2. Sequential thermal reactions of stearic (octadecanoic) acid with some 1,2- and 1,3-aminoalcohols and bis-amines // *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1.*— 1978.— №4.— Pp.373-377.
 15. Plastina P., Meijerink J., Vincken J-P, Gruppen H., Witkamp R., Gabriele B. Selective Synthesis of Unsaturated N-Acylethanolamines by Lipase-Catalyzed N-Acylation of Ethanolamine with Unsaturated Fatty Acids // *Lett. Org. Chem.*— 2009.— V.6.— Pp.444-447.
 16. Geng T., Li Q.X., Jiang Y.J., Wang W. Synthesis of stearic acid triethanolamine ester over solid acid catalysts // *Chin. Chem. Lett.*— 2010.— V.21.— Pp.1020-1024.
 17. Zaky M.F. Synthesis, surface properties and biocidal activity of 2-amino-1-naphthol-4-sulfonate-triethanolamine monoalkanoate cationic surfactants // *Egyptian Journal of Petroleum.*— 2008.— V.17, №1.— Pp.15-21.
 7. Grigor'Eva N.G., Suleimanova A.M., Agliullin M.R., Kutepov B.I. [Synthesis of carboxylic acid esters in the presence of micro- and mesoporous aluminosilicates]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014, vol.87, no.6, pp.773-779.
 8. Ghumare A.K., Pawar B.V., Bhagwat S.S. [Synthesis and antibacterial activity of novel amido-amine-based cationic gemini surfactants]. *J. Surfactant Deterg.* 2013, vol.16, pp.85-93.
 9. Titunov A.V., Khalezov A.A., Ponomarev V.G. *Sposob polucheniya amidov zhirnykh kislot* [Method for the preparation of amides of fatty acids]. Patent RF, no.2599575, 2016.
 10. Lakatos I., Lakatos-Szabo J. [Effect of ethoxylated nonyl-phenols on interfacial rheological properties of oil/water systems]. *Colloid and Polymer Science*, 1997, vol.275, no.5, pp.493-501.
 11. Evdokimov I.N., Kornishin K.A. Apparent [Disaggregation of Colloids in a Magnetically Treated Crude Oil]. *Energy Fuels*, 2009, vol.23, no.8, pp.4016-4020.
 12. Dokichev V.A., Ishmuratov F.G., Alimbekova S.R., Musin F.F., Kuleshov S.P., Kadyrov R.F. *O vliyani nizekchastotnogo elektromagnitnogo polya na kristallizatsiyu karbonata kal'tsiya* [On the influence of a low-frequency electromagnetic field on the crystallization of calcium carbonate]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2017, vol.24, no.4, pp.3-7.
 13. Becker X., Beckert R., Berger V., Gevald K., Genz F., Gluh R., Domske G., Zater E., Meyer R., Metz P., Muller K., Pafel D., Fangkhenel E., Faust Y., Fisher M., Habicher V., Shvetlik K., Schmidt G., Scholberg K., Tseppenfeld G. *Organikum* [organicum]. Moscow, Mir Publ., 1979, 447 p.
 14. Butler R.N., O'Regan C.B., Moynihan P. [Reactions of fatty acids with amines. Part 2. Sequential thermal reactions of stearic (octadecanoic) acid with some 1,2- and 1,3-aminoalcohols and bis-amines]. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 1978, no.4, pp.373-377.
 15. Plastina P., Meijerink J., Vincken J-P, Gruppen H., Witkamp R., Gabriele B. [Selective Synthesis of Unsaturated N-Acylethanolamines by Lipase-Catalyzed N-Acylation of Ethanolamine with Unsaturated Fatty Acids]. *Lett. Org. Chem.*, 2009, vol.6, pp.444-447.
 16. Geng T., Li Q.X., Jiang Y.J., Wang W. [Synthesis of stearic acid triethanolamine ester over solid acid catalysts]. *Chin. Chem. Lett.*, 2010, vol.21, pp.1020-1024.
 17. Zaky M.F. [Synthesis, surface properties and biocidal activity of 2-amino-1-naphthol-4-sulfonate-triethanolamine monoalkanoate cationic surfactants]. *Egyptian Journal of Petroleum.*, 2008, vol.17, no.1, pp.15-21.