



УДК 622.276.64

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДОТОРОЧКИ ЖЕРТВЕННЫХ ПАВ
НА ОСНОВЕ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ И НЕОНОЛА АФ₉-12
С ЦЕЛЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПАВ-ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ НЕОКОМСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

**APPLICATION OF SACRIFICIAL SURFACTANT BASED
ON LIGNOSULFONATES AND NEONOL AF₉-12 TO INCREASE
THE EFFICIENCY OF THE SURFACTANT-POLYMER FLOODING
FOR THE CONDITIONS OF THE NEOCOMIAN DEPOSITS
OF WESTERN SIBERIA**

Сакаева Рената Олеговна

магистрант,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Renatasakaevaaa@gmail.com

Ленченкова Любовь Евгеньевна

доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
LenchenkovaL@mail.ru

Ситдикова Динара Файрузовна

кандидат технических наук, доцент,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
D_sitdikova@list.ru

Сергеева Наталья Анатольевна

кандидат химических наук, заведующий лабораторией,
ООО «Уфимский Научно-Технический Центр»
Sergeevana@ufntc.ru

Сафаров Фарит Эрикович

кандидат химических наук, старший научный сотрудник,
ООО «Уфимский Научно-Технический Центр»
SafarovFI@ufntc.ru

Подлеснова Екатерина Витальевна

кандидат химических наук,
руководитель испытательно-аналитического центра,
ООО «Газпромнефть-Промышленные инновации»
Podlesnova.EV@gazprom-neft.ru

Овчинников Кирилл Александрович

кандидат химических наук,
заместитель генерального директора по НИОКР,
ООО «Газпромнефть-Промышленные инновации»
Ovchinnikov.ka@gazprom-neft.ru

Телин Алексей Герольдович

кандидат химических наук, член-корреспондент раен,
заместитель директора по научной работе,
ООО «Уфимский Научно-Технический Центр»
TelinAG@ufntc.ru

Sakaeva Renata Olegovna

Master's student,
Ufa State Petroleum Technical University
Renatasakaevaaa@gmail.com

Lenchenkova Lyubov Evgenievna

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Ufa State Petroleum Technical University
LenchenkovaL@mail.ru

Sitdikova Dinara Fayruzovna

Candidate of Technical Sciences, Docent,
Ufa State Petroleum Technical University
D_sitdikova@list.ru

Sergeeva Natalia Anatolyevna

Candidate of Chemical Sciences,
Head of the Laboratory,
Ufa Scientific and Technical Center LLC
Sergeevana@ufntc.ru

Safarov Farit Erikovich

Candidate of Chemical Sciences,
Senior Researcher,
Ufa Scientific and Technical Center LLC
SafarovFI@ufntc.ru

Podlesnova Ekaterina Vitalievna

Candidate of Chemical Sciences,
Head of the Testing and Analytical Center,
Gazpromneft-Industrial Innovations LLC
Podlesnova.EV@gazprom-neft.ru

Ovchinnikov Kirill Alexandrovich

Candidate of Chemical Sciences,
Deputy Director General for for Research
and Development Work,
Gazpromneft-Industrial Innovations LLC
Ovchinnikov.ka@gazprom-neft.ru

Telin Alexey Geroldovich

Candidate of Chemical Sciences,
Corresponding Member of the Russian
Academy of Natural Sciences,
Deputy Director for Scientific Work,
Ufa Scientific and Technical Center LLC
TelinAG@ufntc.ru



Аннотация. В данной работе проанализировали пригодность композиций, состоящих из неонла АФ₉-12 и лигносульфонатов (ЛСТ) от разных производителей, для их использования при ПАВ-полимерном заводнении в качестве «жертвенных» ПАВ. Состав отработывался по результатам изучения его свойств; в частности, фазового поведения в системе пластовая вода/нефть целевого объекта, способности композиций отмывать нефтяные пленки с поверхности твердого тела, а также по результатам фильтрационного тестирования. В статье представлены результаты исследований для композиций неонла АФ₉-12 с ЛСТ производства АО «Соликамскбумпром» (г. Соликамск) и ООО «Прикамский картон» (г. Пермь). Показано, что наибольшую эффективность имеют композиции неонла АФ₉-12 с ЛСТ техническим жидким (г. Пермь) и с ЛСТ техническим порошкообразным (г. Соликамск).

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, методы увеличения нефтеотдачи, нефтяная пленка, моющая способность, фазовое поведение.

Annotation. In this paper, we analyzed the suitability of compositions consisting of neonol AF₉-12 and lignosulfonates (LST) from different manufacturers for their use in surfactant-polymer flooding as «sacrificial» surfactants. The composition was worked out based on the results of studying its properties; in particular, the phase behavior in the reservoir water/oil system of the target object, the ability of compositions to wash oil tape from the surface of a solid, also the results of filtration testing.

The article presents the results of research for compositions of neonol AF₉-12 with LST produced by JSC «Solikamskumprom» (Solikamsk) and LLC «Prikamsky paperboard» (Perm). It is shown that the compositions of neonol AF₉-12 with technical liquid LST (Perm) and with technical powdered LST (Solikamsk) have the greatest effectiveness.

Keywords: surfactants, methods of increasing oil recovery, oil tape, washing capacity, phase behavior.

В настоящей работе мы провели серию физико-химических и фильтрационных экспериментов с целью адаптации ПАВ-полимерного заводнения для условий одного из Западно-Сибирских месторождений (продуктивный коллектор представлен пластом группы Б). В качестве отправной точки исследования использовали коктейль ПАВ и технологию закачки, описанные в статье [1]. Отметим, что составляющие ПАВ-коктейль реагенты представлены промышленно-производимыми продуктами (это отличие от результатов работы [1], в которой некоторые компоненты ПАВ-коктейля были представлены лабораторными и пилотными образцами). Результаты фильтрационных исследований ПАВ-коктейля, состоящего из промышленно-производимых образцов ПАВ, отличаются в худшую сторону от результатов, полученных для лучших лабораторных образцов. Показатели прироста коэффициента вытеснения ($K_{\text{выт}}$), полученные в идентичных условиях, составили 12 % и 20 % для промышленных и лабораторных образцов, соответственно.

С целью достижения высокой эффективности ПАВ-коктейлей, состоящих из промышленных образцов, мы провели краткий литературный анализ по вопросу применения перспективных «жертвенных» ПАВ, которые используются для увеличения эффективности ПАВ-заводнения. Роль жертвенных ПАВ в данной технологии заключается в том, что они, закачиваемые перед оторочкой основного ПАВ-коктейля, снижают потери дорогостоящих ПАВ за счет адсорбции на активных центрах горной породы. Это возможно в связи со схожестью физико-химических свойств и химической природы жертвенных ПАВ и активной основы ПАВ-коктейля, производящей основную часть работы по мобилизации остаточной нефти. Анализ литературных источников [2, 3] указал на перспективность использования в качестве жертвенных ПАВ композиций из ЛСТ и НПВ.

Для отработки состава жертвенных ПАВ изучали фазовое поведение композиций в системе «вода/нефть»; способность к быстрому и эффективному отмыву сорбированных на стандартной поверхности нефтяных пленок; снимали их поверхностное натяжение, а также производили фильтрационные исследования.

Определение поверхностного натяжения проводили по ГОСТ Р 50097 при температуре 25 °С. Так, на рисунке 1 представлена изотерма поверхностного натяжения для растворов композиции, состоящей из ЛСТ производства АО «Соликамскбумпром» и неонла АФ₉-12, взятых в соотношении 1 : 1 (по массе). Критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ) получили, построив зависимость поверхностного натяжения от концентрации, и она оказалась равной 0,1 %. Результаты определения поверхностного натяжения позволили обосновать концентрационные пределы коктейля жертвенных ПАВ.

Для определения способности ПАВ к отмыву пленки нефти использовали установку, состоящую из источника света, фоторезистора и аналого-цифрового преобразователя, которая позволяет с высокой точностью записывать динамику изменения светопропускания изначально прозрачного образца с сорбированной на нем нефтью (схема данной установки подробно описана в статье [4]). Кинетические кривые отмыва пленки нефти водными растворами ПАВ представляются в виде графиков, при анализе которых возможно получить эффективную константу отмыва пленки нефти. Чем выше величина данной константы, тем быстрее и полнее/эффективнее раствор ПАВ отмывает остаточную нефть. В качестве модели гидрофильной поверхности породы использовали стеклянную прозрачную пластину, на поверхность которой сорбировали пленку нефти. Этот образец/пластину помещали в ювету, располагающуюся между источником света и фоторезистором. Ограничением применения рассматриваемого метода является то, что он пригоден только для прозрачных растворов ПАВ (прежде всего это низкоконцентрированные растворы). Мутные жидкости обладают низким коэффициентом светопропускания, что является мешающим фактором при выполнении эксперимента.

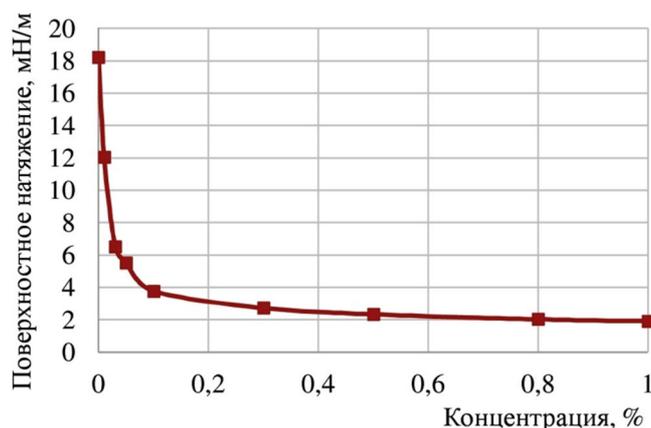


Рисунок 1 – Изотерма поверхностного натяжения композиции ЛСТ (г. Соликамск, порошок) + Неонол АФ₉-12

Оценивали мощную способность образцов ЛСТ, полученных от двух разных производителей, а также композиций ЛСТ с неонолом АФ₉-12. Для формирования пленки нефти на стеклянной пластине использовали безводную нефть Западно-Сибирского месторождения. Полученные результаты сопоставляли с данными экспериментов, проведенных с безводной отбензиненной нефтью верейского горизонта Шелкановского месторождения (скв. 948). Смысл проведения экспериментов с отбензиненной нефтью заключается в том, что последняя фактически является простейшей моделью остаточной пленочной нефти [5]. В своих исследованиях пленки нефти формировали в одинаковых условиях, а именно, при выдержке стеклянной пластины в нефти соответствующего месторождения (с полным погружением пластины) в течение 30 минут при комнатной температуре (25 °С). Оказалось, что сформированные на стеклянных поверхностях пленки нефти Западно-Сибирского и Шелкановского месторождений, сформированные на стеклянных поверхностях, внешне сильно различаются. Пленка нефти Западно-Сибирского месторождения тонкая, пропускает свет (интенсивность светопропускания $\tau = 0,24 \div 0,27$ отн. ед), в то время как нефть со скв. 948 Шелкановского месторождения образует более плотную пленку и практически свет не пропускает (интенсивность светопропускания $\tau = 0,005 \div 0,015$ отн. ед.). В связи с этим были выбраны и различные временные диапазоны проведения экспериментов. Так, для нефти Западно-Сибирского месторождения достаточным является время наблюдения, равное 15 минут, а в случае нефти Шелкановского месторождения для каждого эксперимента необходимое время экспозиции равняется 30 минутам. В работе представлены результаты экспериментов для тех ПАВ, растворы которых являются прозрачными и имеют коэффициент светопропускания, сравнимый с таковым для пресной воды. Исследуемая концентрация композиций равна 0,1 % (соответствует ККМ). Рассматривались следующие составы ПАВ:

№ 1 – ЛСТ (г. Соликамск, порошок) + АФ₉-12 (1 : 1);

№ 2 – ЛСТ (г. Пермь, жидкая товарная форма) + АФ₉-12 (1:1);

№ 3 – ЛСТ (г. Пермь, порошок) + АФ₉-12 (1 : 1).

Результаты экспериментов представлены на рисунках 2 и 3.

Согласно полученным данным, отличной отмывающей способностью обладают все композиции ЛСТ от разных производителей с неонолом АФ₉-12, в частности, пленку нефти Западно-Сибирского месторождения они отмывают за 9 с. Композиции ЛСТ из г. Соликамск, представленного в порошкообразном виде, и из г. Пермь – в жидком виде в сочетании с неонолом АФ₉-12 (составы № 1 и № 2) более эффективно отмывают пленку отбензиненной нефти Шелкановского месторождения по сравнению с композицией, состоящей из неонولا АФ₉-12 и ЛСТ из г. Пермь в порошкообразном виде (состав № 3).

Тесты на фазовое поведение проводили по следующей методике: готовили 5 мл раствора композиции ПАВ в пластовой воде Западно-Сибирского месторождения, затем смешивали с 5 мл нефти этого же месторождения, неинтенсивно перемешивали (два – четыре осторожных полных переворачиваний). Далее пробирки термостатировали при пластовой температуре (76 °С) в течение 24 часов. После чего содержимое пробирок снова осторожно перемешивали (одно медленное переворачивание), затем образцы выдерживали в покое до установления фазового равновесия. Далее определяли тип образующихся эмульсий по классификации Винзора, замеряли объемы углеводородной и водной фаз. В экспериментах были использованы 2 % растворы составов № 1 – № 3. В таблице 1 представлено фазовое поведение рассмотренных композиций, из которой видно, что наибольший объем средней фазы дает композиция, включающая в свой состав ЛСТ из г. Соликамск, а наименьший объем средней фазы получен в эксперименте с композицией, содержащей ЛСТ из г. Пермь в порошкообразном виде. Тем не менее, можно сделать вывод, что оба образца ЛСТ в сочетании с неонолом АФ₉-12 показали хорошие результаты как по фазовому поведению, так и по эффективности отмыва пленки нефти.

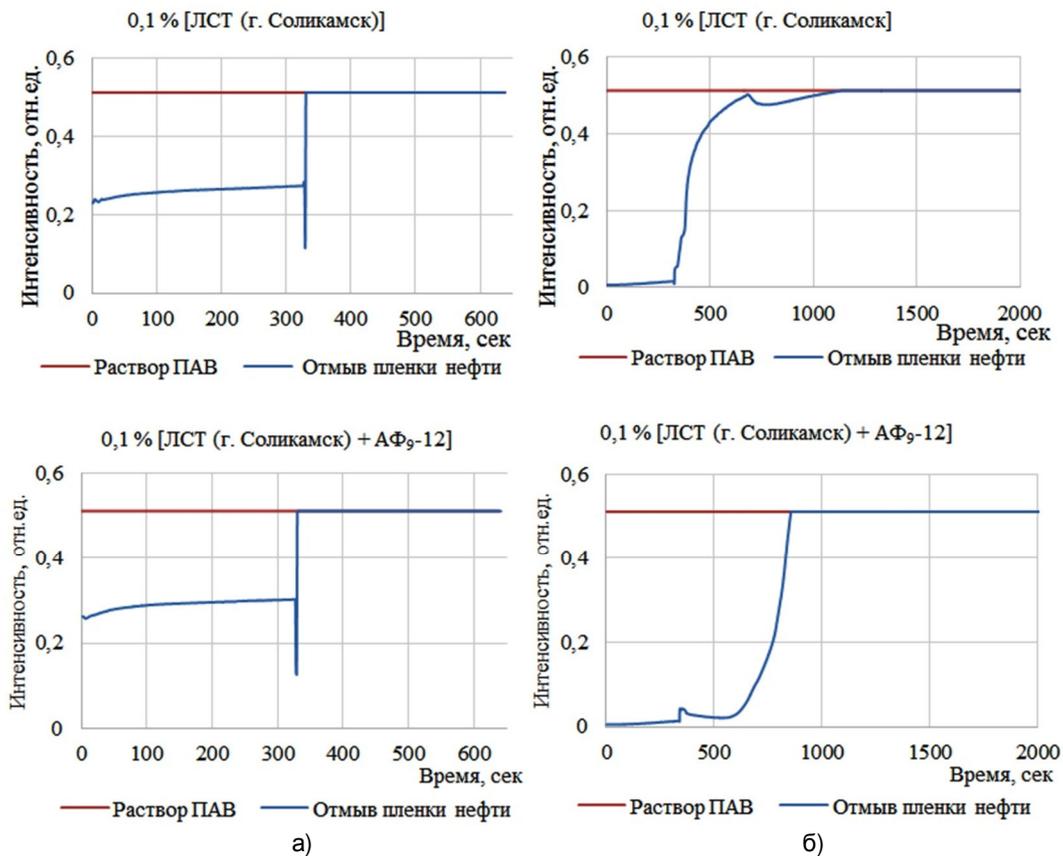


Рисунок 2 – Кинетика отмыва пленки нефти с поверхности стеклянной пластины растворами композиций, содержащими ЛСТ (г. Соликамск) и неонол АФ₉-12 в соотношении 1 : 1, в условиях: а) нативной нефти Западно-Сибирского месторождения; б) отбензиненной нефти Шелкановского месторождения

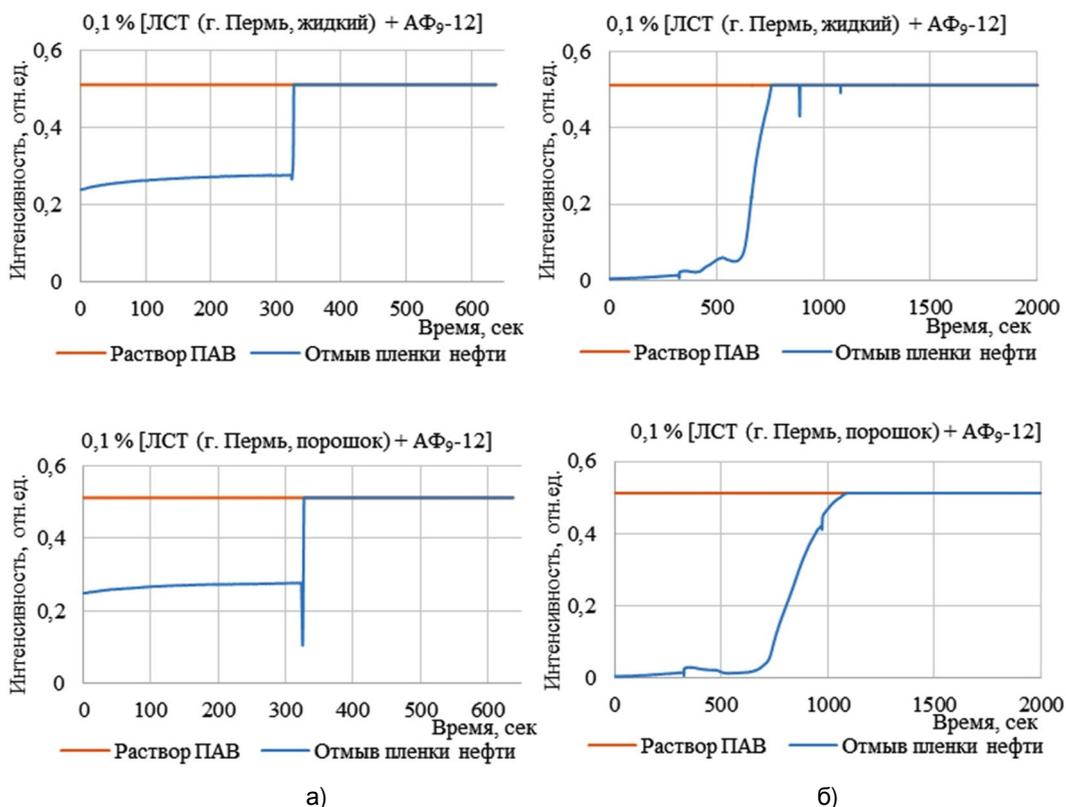


Рисунок 3 – Кинетика отмыва пленки нефти с поверхности стеклянной пластины растворами композиций, содержащими ЛСТ (г. Пермь) и неонол АФ₉-12 в соотношении 1 : 1, в условиях: а) нативной нефти Западно-Сибирского месторождения; б) отбензиненной нефти Шелкановского месторождения



Таблица 1 – Фазовое поведение составов

До термостатирования			
№ состава ПАВ	Водная фаза, мл	Углеводородная фаза, мл	Средняя фаза, мл
1	3,8	0,2	6,0
2	4,4	0,2	5,4
3	4,2	0,2	5,6
После термостатирования			
1	4,6	0,8	4,6
2	4,6	1,0	4,4
3	4,8	1,4	3,8

В проведенных нами фильтрационных экспериментах перед основной композицией ПАВ и последующим полимером закачивалась предоторочка жертвенных ПАВ, состоящая из ЛСТ и неолола АФ₉-12 в концентрации 2 % (соотношение 1 : 1), объемом 0,2 V_{пор}. Концентрации реагентов и объемы оторочек соответствовали методике, описанной в [1]. Прирост K_{выт.} в этом случае составил 17,2 %, в то время как без предоторочки жертвенных ПАВ прирост коэффициента вытеснения не превышает 12,1 %. Необходимо отметить, что сама композиция, состоящая из ЛСТ и неолола АФ₉-12, закачанная даже в объеме 1,0 V_{пор}, приводит к приросту коэффициента вытеснения, равному всего 1,8 %. Таким образом, фильтрационные эксперименты полностью подтвердили правильность выбранного подхода по использованию жертвенных композиций ПАВ для увеличения эффективности ПАВ-полимерного заводнения.

Выводы:

1. Проведены исследования фазового поведения и моющей способности композиций жертвенных ПАВ, состоящих из ЛСТ от разных производителей и неолола АФ₉-12.
2. Выявлено, что наибольший объем средней фазы при исследовании фазового поведения дает композиция, в состав которой входит ЛСТ из г. Соликамск (состав № 1).
3. По моющей способности пленки нефти Западно-Сибирского месторождения все композиции ЛСТ с неололом АФ₉-12 имеют хорошую отмывающую способность (результат достигается за 9 с). Пленку отбензиновой нефти лучше отмывает композиция с жидким ЛСТ (г. Пермь) и неололом АФ₉-12 (состав № 2) – за 439 с. Хорошую моющую способность имеет композиция неолола АФ₉-12 с ЛСТ из г. Соликамск (состав № 1): отмыв достигается за 534 с. За более длительный промежуток времени (770 с) отмывается пленка нефти Шелкановского месторождения при использовании водной композиции, в состав которой входит наряду с неололом АФ₉-12 порошкообразный ЛСТ из г. Пермь (состав № 3).
4. Фильтрационные эксперименты с использованием ЛСТ (г. Соликамск) и неолола АФ₉-12 в качестве небольшой предоторочки показали существенный прирост коэффициента вытеснения.

Список литературы:

1. Извлечение остаточной нефти композицией ПАВ / К.А. Овчинников [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 8. – С. 70–75.
2. Ленченкова Л.Е. Повышение нефтеотдачи пластов физико-химическими методами. – М. : ООО «Недра : Бизнесцентр». – 1998. – 394 с.
3. Применение водных растворов лигносульфонатов в процессах повышения нефтеотдачи пластов / Е.С. Калинин [и др.] // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». – 2010. – № 7 (28). – С. 186–194.
4. Семихина Л.П., Штыков С.В., Карелин Е.А. Исследование пригодности реагентов для химических методов заводнения по их способности отмывать пленки нефти // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2015. – № 5. – С. 236–256.
5. Моделирование состава и свойств остаточной нефти / Р.Х. Старцева [и др.] // Нефтехимия. – 1998. – Т. 38. – № 2. – С. 96–101.

List of references:

1. Extraction of residual oil by surfactant composition / K.A. Ovchinnikov [et al.] // Oil economy. – 2022. – № 8. – P. 70–75.
2. Lenchenkova L.E. Increase of oil recovery by physical and chemical methods. – M. : Nedra : Business Centre. – 1998. – 394 p.
3. Aqueous solutions of lignosulphonates in enhanced oil recovery processes / E.S. Kalinin [etc.] // Bulletin of Samara State Technical University. Technical Series. – 2010. – № 7 (28). – P. 186–194.
4. Semikhina L.P., Shtykov S.V., Karelin E.A. Study of suitability of reagents for chemical flooding methods according to their ability to wash oil films // Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business». – 2015. – № 5. – P. 236–256.
5. Modeling of composition and properties of residual oil / R.Kh. Startseva [et al.] // Petrochemistry. – 1998. – V. 38. – № 2. – P. 96–101.