

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.178-190>

EDN ABUGPF

УДК 622.276.438

**Изучение эффективности применения олеофобных частиц
для подготовки нагнетаемой в пласт воды
(сравнение двух методов)**

¹Деньгаев А.В., ¹Гиззатов А.Ю., ¹Валеев Д.И., ²Хазиев Р.Р.

¹РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

²Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия

**The study of the effectiveness of using oleophobic particles for the
preparation of water injected into the reservoir
(comparison of two methods)**

¹A.V. Dengayev, ¹A.Yu. Gizzatov, ¹D.I. Valeev, ²R.R. Khaziev

¹Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU), Moscow, Russia

²Institute of Ecology and Subsoil Use Problems of the Tatarstan Academy of Sciences,
Kazan, Russia

E-mail: arsengizzatov@mail.ru

Аннотация. Цель данной работы заключалась в исследовании свойств нефтеводных эмульсий и определении эффективности использования специальных олеофильных частиц для подготовки нагнетаемой в пласт воды, ее очистки от остаточных капель углеводородной фазы. В ходе исследования был проведен анализ физико-химических свойств моделей нефтеводных (прямых) эмульсий, а также определены основные факторы, влияющие на их очистку от остаточной нефти. Также были проведены фильтрационные тесты для различных условий по температуре и вязкости нефти. Результатом являются зависимости, отражающие область эффективной работы фильтра в заданных условиях, что может быть использовано для оптимизации процесса подготовки воды для поддержания пластового давления на производстве.

В результате исследования были получены следующие выводы: очистка воды от остаточных углеводородов является сложной и актуальной проблемой в нефтяной про-

мышленности, и эффективные методы разделения являются необходимыми для обеспечения эффективной работы нефтеперерабатывающих производств. Применение олеофильных частиц оказалось наиболее эффективным методом очистки воды, что может быть использовано на практике для повышения эффективности процессов промышленной подготовки воды и нефти.

Ключевые слова: физические свойства нефти, водонефтяная эмульсия, олеофобные частицы, нефтяной пласт, фильтрационно-емкостные свойства, методы очистки нефти, повышение нефтеотдачи, микроскопические исследования, качественный анализ, пластовая вода

Для цитирования: Деньгаев А.В., Гиззатов А.Ю., Валеев Д.И., Хазиев Р.Р. Изучение эффективности применения олеофобных частиц для подготовки нагнетаемой в пласт воды (сравнение двух методов) // Нефтяная провинция.-2025.-№2(42).-С. 178-190. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.178-190>. - EDN ABUGPF

Abstract. The purpose of this work was to study the properties of oil-water emulsions and determine the effectiveness of using special oleophilic particles to prepare water injected into the reservoir and purify it from residual droplets of the hydrocarbon phase. The study analyzed the physico-chemical properties of models of oil-water (direct) emulsions, and also identified the main factors influencing their purification from residual oil. Filtration tests were also carried out for various oil temperature and viscosity conditions.

The result is dependencies that reflect the area of effective operation of the filter under specified conditions, which can be used to optimize the water treatment process to maintain reservoir pressure in production. As a result of the study, the following conclusions were obtained: water purification from residual hydrocarbons is a complex and urgent problem in the oil industry, and effective separation methods are necessary to ensure the efficient operation of oil refineries. The use of oleophilic particles has proven to be the most effective method of water purification, which can be used in practice to improve the efficiency of field water and oil treatment processes.

Key words: physical properties of oil, water-oil emulsion, oleophobic particles, oil reservoir, filtration and capacitive properties, methods of oil purification, enhanced oil recovery, microscopic studies, qualitative analysis, reservoir water

For citation: A.V. Dengayev, A.Yu. Gizzatov, D.I. Valeev, R.R. Khaziev Izucheniye effektivnosti primeneniya oleofobnykh chastits dlya podgotovki nagnetayemoy v plast vody (sravneniye dvukh metodov) [The study of the effectiveness of using oleophobic particles for the preparation of water injected into the reservoir (comparison of two methods)]. Neftyanaya Provintsiya, No. 2(42), 2025. pp. 178-190. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.2.178-190>. EDN ABUGPF (in Russian)

Введение

Современная разработка месторождений, находящихся на 3 или 4 стадии, не обходится без системы поддержания пластового давления, где к качеству нагнетаемой воды предъявляются повышенные требования, обусловленные геологической сложностью и тенденцией к ухудшению фильтрационно-емкостных свойств коллекторов [1]. Несмотря на предварительную обработку, остаточное нефтесодержание в воде варьируется в широком диапазоне, однако параметры закачиваемой воды определяются проектной документацией [2-3].

Одним из физических методов очистки является применение олеофобных частиц, механизм действия которых заключается в адсорбции капель нефти за счет фильности поверхности. Это обеспечивает снижение концентрации углеводородов в воде на выходе из очистной установки [4]. Для обеспечения стабильного дебита скважин требуется непрерывный контроль качества нагнетаемой воды, поскольку восстановление проницаемости пласта в зонах с низкой приемистостью является крайне затруднительным [5-6].

Экспериментальная часть

На первом этапе была создана модель пластовой воды с заданной концентрацией углеводородов, подготовлены материалы и собрана экспериментальная установка. На втором этапе проводились измерения микроскопом в трех итерациях с использованием олеофобных частиц и кварцевого песка и получение графических зависимостей анализатором АН-2.

Исходными материалами для изучения послужили: -нефть Западно-Салымского месторождения (вязкость 43 сПз, плотность 0,82 г/см³);

- олеофобные частицы (технология "ОреФильтр" компании ООО «Воронежпеностекло», размер частиц примерно равен 1 мм);
- песок кварцевый (размер частиц 0,4-0,8 мм).

Процесс создания модели пластовой воды в данной работе основывался на замешивании с помощью гомогенизатора Stegler S10 (Рис. 1). В одном литре дистиллированной воды 25 капель нефти Западно-Салымского месторождения (вес 1 капли нефти равен 20 мг) с добавлением 20 г соли NaCl для создания средней степени минерализации воды [7].

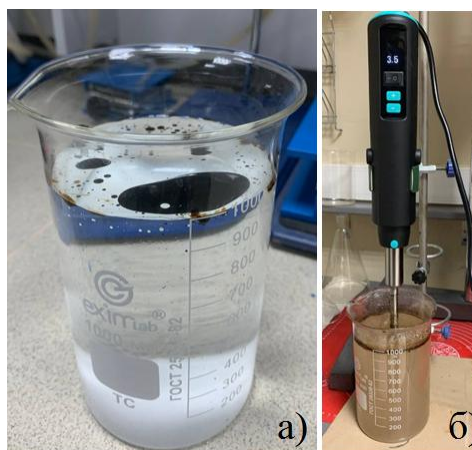


Рис. 1. Подготовительный этап создания водонефтяной эмульсии.

а) Модель пластовой воды перед процессом замешивания;

б) замешивание модели пластовой воды при помощи мешалки-гомогенизатора Stegler S10

Во время функционирования прибора поток частиц обретае высокую скорость, после чего происходит его столкновение с отражательным кольцом. Также дробление и перемешивание частиц осуществляется благодаря кавитации, за счет чего происходит облегчение растворения и измельчения твердых частиц и смесей высокой плотности и повышение стабильности эмульсий [8].

Основные технические характеристики прибора Stegler S10 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики прибора Stegler S10

Установка скорости	8000-35000 об/мин
Уровень шума	72 дБ (А)
Потребляемая мощность	160 Вт
Объем обрабатываемых проб	0,2 мл – 2 л

Экспериментальная установка (Рис. 2) состоит из 4 основных частей:

1. Дозирующий перистальтический насос Shenchen LabF1;
2. Трубка с муфтами из поликарбоната, полностью заполненная фильтровальным материалом (олеофобными частицами/кварцевым песком) (Рис. 3);
3. Емкости для хранения и приема модели пластовой воды;
4. Силиконовая трубка, соединяющая все элементы установки;



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки



Рис. 3. Трубка с муфтами

Для повышения эффективности результата испытание выполнено в три итерации, причем после каждой итерации обязательный замер концентрации углеводородов: с помощью «графического метода» со снимков образцов воды на микроскопе Levenhuk (Рис. 4).



Рис. 4. Микроскоп Levenhuk (с увеличением 4-60х)

Исследование с использованием олеофобных частиц

На рис. 5 представлены образцы модели пластовой воды после проведения 3 итераций очистки через олеофобные частицы.



Рис. 5. Образцы: исходная смесь (500 мг/л) (слева) и смесь после очистки через олеофобные частицы (справа) (9 мг/л)

Исследования с использованием кварцевого песка

На рис. 6 представлены образцы модели пластовой воды после проведения 3 итераций очистки кварцевый песок.



Рис. 6. Образцы: исходная смесь (500 мг/л) (слева) и смесь после очистки через кварцевый песок (справа) (59 мг/л)

Замер концентрации углеводородов с помощью микроскопа

Этапы замера концентрации с помощью микроскопа проводятся в следующем порядке:

1. Обработка проб, полученных при прокачке через фильтр с олеофобными частицами/песком на микроскопе;
2. Подготовка снимков с микроскопа с разной степенью увеличения (4х, 10х, 40х, 60х) (Рис. 7);
3. Подсчет диаметров всех видимых капель нефти с помощью программного обеспечения «ТоурView», относящееся к описанному ранее микроскопу фирмы Levenhuk (Рис. 8);

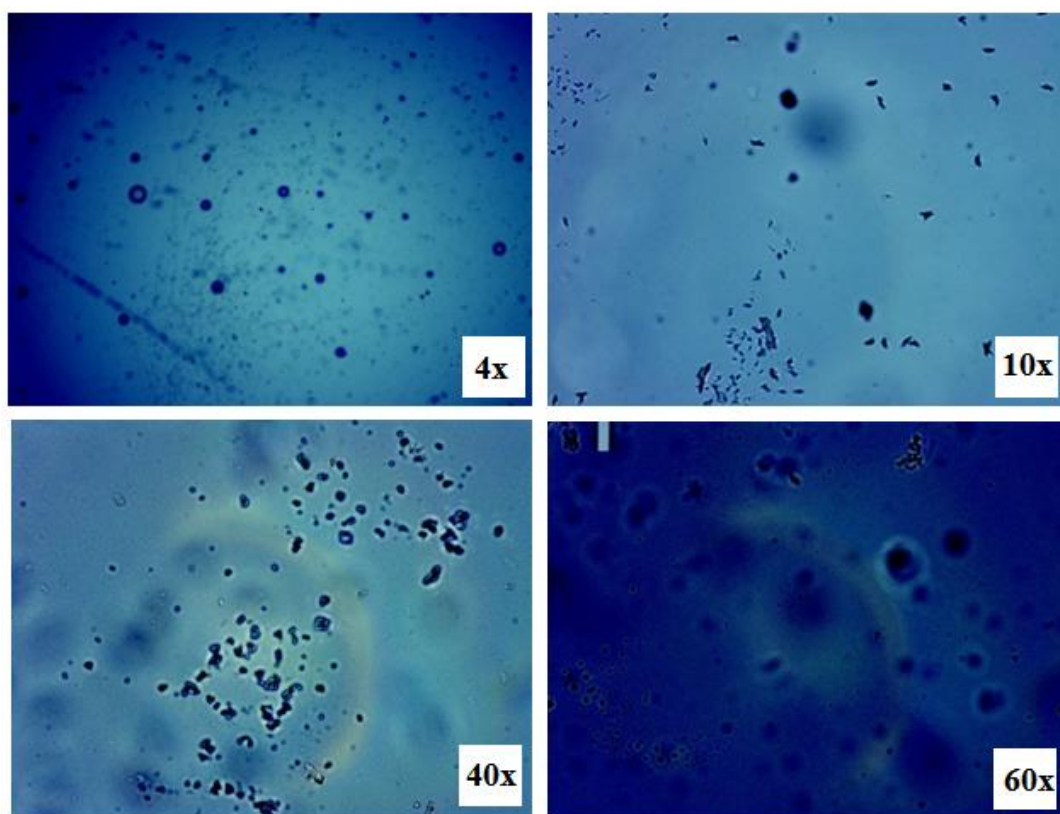


Рис. 7. Снимки с микроскопа образца воды с разным увеличением

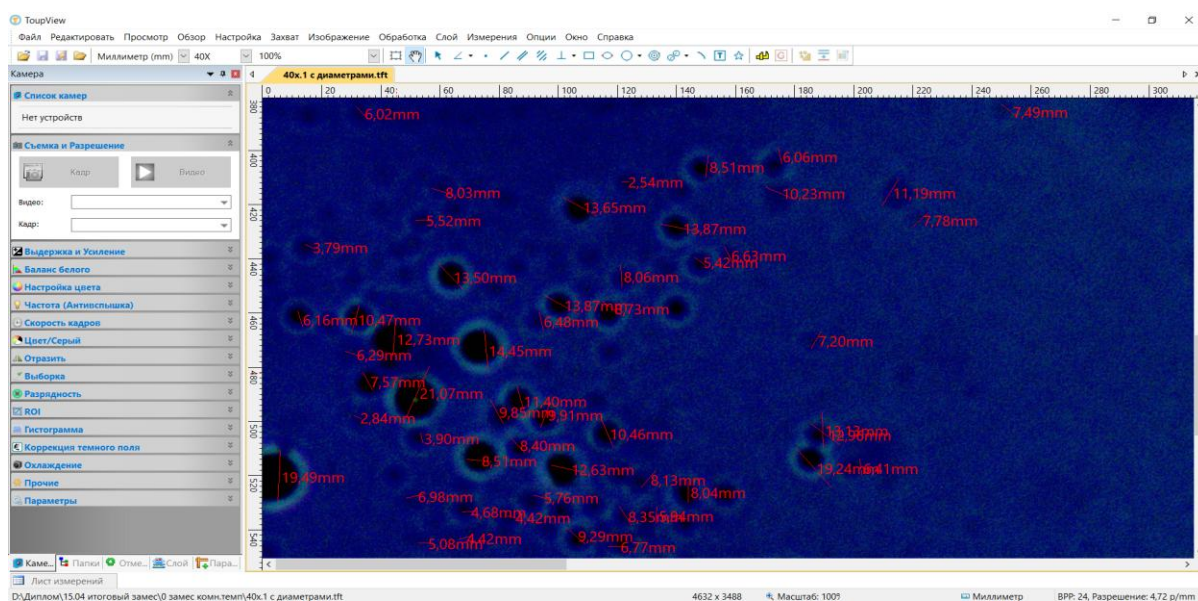


Рис. 8. Подсчет диаметров капель нефти при помощи ПО

4. Выгрузка результатов в таблицу Excel.

Результатом анализа проб воды является выгрузка в Excel таблицы со всей необходимой информацией для вычисления концентрации УВ в воде.

5. Подсчет концентрации УВ в воде, как отношение площадей всех молекул нефти в выбранном сегменте к площади всего сегмента с учетом плотности нефти.

Результаты исследования

Исследования по снижению концентрации углеводородов в воде выполнялись с применением олеофобных частиц и кварцевого песка. Замеры концентраций производились двумя методами: при помощи микроскопа (Рис. 9) и при помощи анализатора концентрации нефтепродуктов (Рис. 10).

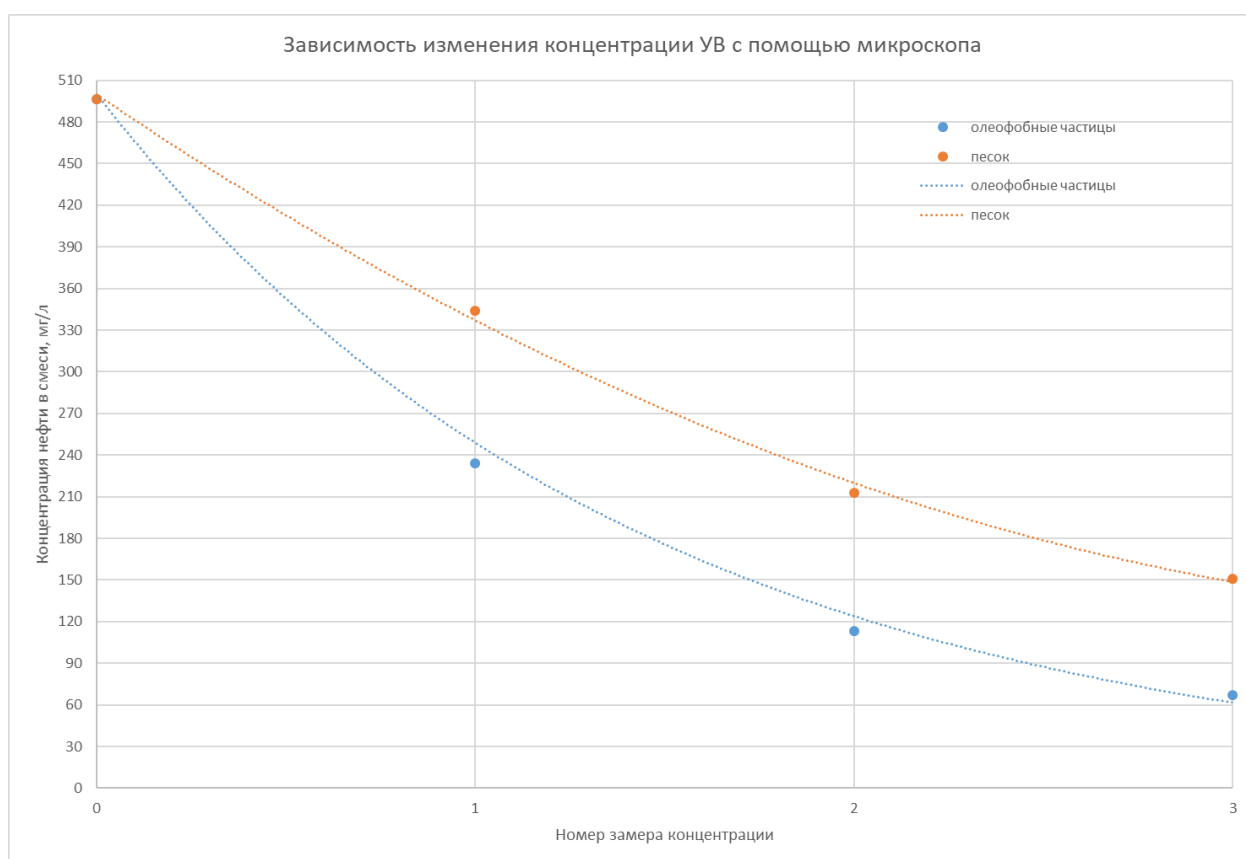


Рис. 9. Результаты, полученные с помощью микроскопа

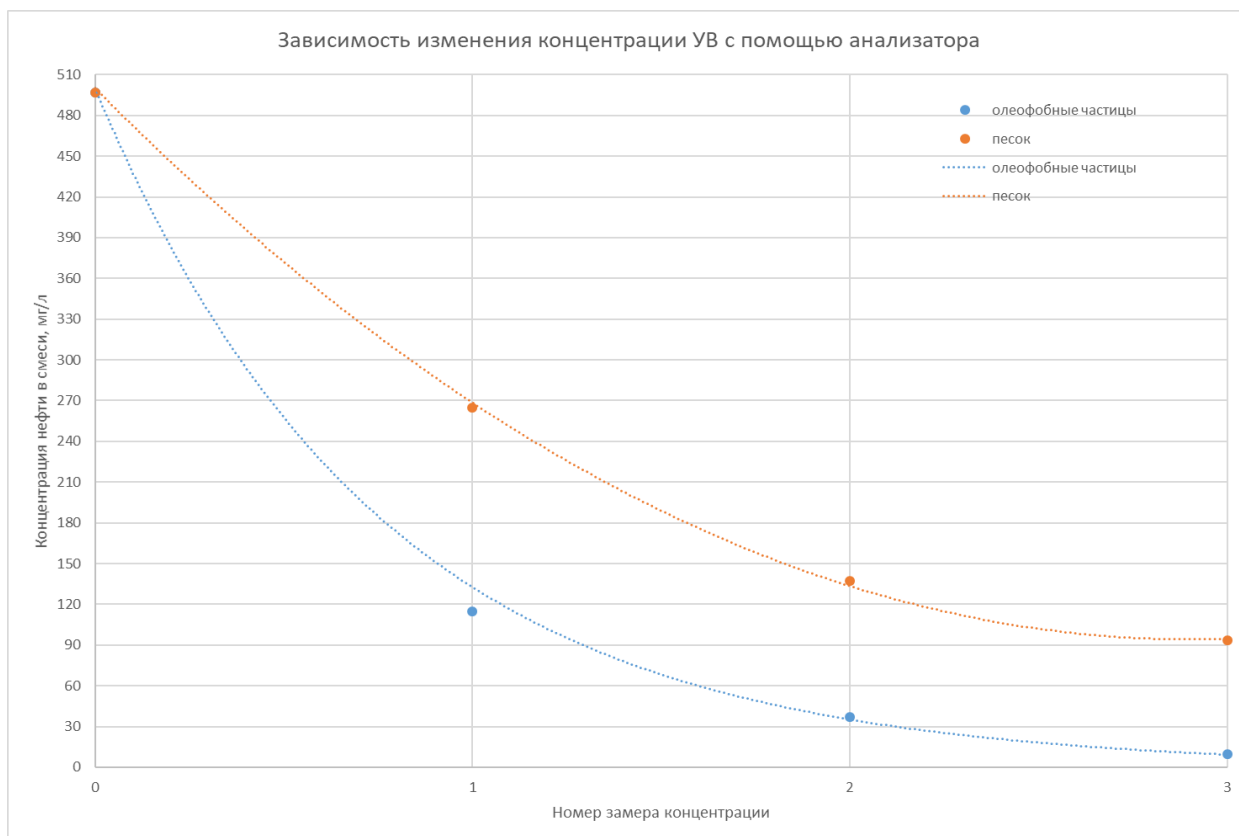


Рис. 10. Результаты, полученные с помощью анализатора

Выводы

В результате проведенных работ подготовки закачиваемой в пласт воды, наибольшую эффективность показал вариант с применением олеофобных частиц, которые с начального значения концентрации углеводородов в анализируемой воде, равного 500 мг/л, в процессе эксперимента снизили: после 1 итерации – до 115 мг/л, после 2 итерации – до 37 мг/л и после 3 итерации – до **9,48 мг/л**. В качестве сравнения, результаты экспериментов с кварцевым песком показали, что концентрация углеводородов снижается с начальной (500 мг/л): после 1 итерации – до 265 мг/л, после 2 итерации – до 137 мг/л, после 3 итерации – до **93,48 мг/л**. Данные результаты доказывают **высокую эффективность технологии применения олеофобных частиц**, при которой в лабораторных условиях значение концентрации углеводородов при измерении с помощью анализатора **снизилась на 98 %**.

Таким образом, подготовка воды и нефти является ключевым процессом в нефтедобывающей промышленности в части обеспечения безопасности, эффективности и экологической устойчивости процессов добычи и переработки нефти. Выбор метода измерения концентрации в результате проведенных работ, определен в пользу анализатора.

Список литературы

1. Арнольд К., Стюарт М. Справочник по оборудованию для комплексной подготовки нефти. Промысловая подготовка углеводородов/Перевод с английского. - М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2011. - 776 с., ил. — (Промышленный инжиниринг).
2. Ахметов, С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: учебное пособие / С.А. Ахметов. – СПб: Недра, 2006. – 868 с.
3. Дунюшкин И.И., Мищенко И.Т., Елисеева Е.И. Расчеты физико-химических свойств пластовой и промысловой нефти и воды: Учебное пособие для вузов. - М: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. - 448 с.
4. Косяков А.В., Белов П.В., Ишков А.Д., Лапенко А.А. Технология очистки воды от нефти и маслонефтепродуктов с помощью "водяного" фильтра на минеральном пористом носителе //Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса: Научно-технический журнал. - 2021. - №1. - С. 32-37.
5. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: Учебное пособие для вузов. — М: М71 ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. — 816 с.
6. Назарова Л.Н. Разработка нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами: Учебник. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – 340 с.
7. Язынина И.В., Шеяго Е.В. Сборник лабораторных работ по курсу «Физика нефтяного и газового пласта». – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009, 87 с.
8. Anne Silset. Emulsions of Heavy Crude Oils. Characterization, Stabilization, Destabilization and Produced Water Quality, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, November 2008.

References

1. Arnold K., Stewart M. Spravochnik po oborudovaniyu dlya kompleksnoj podgotovki nefiti. Promyslovaya podgotovka uglevodorodov [Handbook of equipment for complex oil treatment. Field preparation of hydrocarbons]/ Perevod s anglijskogo. - M.: ООО «Premium Inzhiniring» [Translated from English. Moscow: Premium Engineering LLC], 2011. 776 p., ill. — (Industrial Engineering). (in Russian)
2. Akhmetov, S. A. Tekhnologiya i oborudovanie processov pererabotki nefiti i gaza: uchebnoe posobie [Technology and equipment of oil and gas refining processes: a textbook] / S. A. Ahmetov. – SPb: Nedra [S. A. Akhmetov. Saint Petersburg: Nedra], 2006. 868p. (in Russian)
3. Dunyushkin I.I., Mishchenko I.T., Eliseeva E.I. Raschety fiziko-himicheskikh svojstv plastovoj i promyslovoj nefiti i vody: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Calculations of the physico-chemical properties of reservoir and field oil and water: A textbook for universities]. -

- M: FGUP Iz-vo «Neft' i gaz» RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina [Moscow: FSUE Publishing House "Oil and Gas" Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkina], 2004. - 448 p. (in Russian)
4. Kosyakov A.V., Belov P.V., Ishkov A.D., Lapenko A.A. Tekhnologiya ochistki vody ot nefti i maslonefteproduktov s pomoshch'yu "vodyanogo" fil'tra na mineral'nom poristom nositele. [Technology of water purification from oil and oil and oil products using a "water" filter on a porous mineral carrier] // Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa: Nauchno-tekhnicheskij zhurnal. [Equipment and technologies for the oil and gas complex: Scientific and Technical Journal], 2021, No. 1, Pp. 32-37. (in Russian)
 5. Mishchenko I.T. Skvazhinnaya dobycha nefti: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Borehole oil production: A textbook for universities]. M: M71 FGUP Izd-vo «Neft' i gaz» RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina [Moscow: M71 FGUP Publishing House "Oil and Gas" Gubkin Russian State University of Oil and Gas], 2003. 816 p. (in Russian)
 6. Nazarova L.N. Razrabotka neftyanyh mestorozhdenij s trudnoizvlekaemymi zapasami: Uchebnik [Development of oil fields with hard-to-recover reserves: Textbook]. M.: Rossijskij gosudarstvennyj universitet nefti i gaza (NIU) imeni I.M. Gubkina [Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU)], 2019. 340 p. (in Russian)
 7. Yazinina I.V., Shelyago E.V. Sbornik laboratornyh rabot po kursu «Fizika neftyanogo i gazovogo plasta» [Collection of laboratory papers on the course "Physics of the oil and gas reservoir"]. M.: RGU nefti i gaza im. I.M. Gubkina [Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas], 2009, 87 p. (in Russian)
 8. Anne Silset. Emulsions of Heavy Crude Oils. Characterization, Stabilization, Destabilization and Produced Water Quality, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, November 2008.

Сведения об авторах

Деньгаев Алексей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений РГУ нефти и газа им. Губкина
Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, 65
E-mail: nttm_smena@mail.ru

Гиззатов Арсен Юнирович, магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений РГУ нефти и газа им. Губкина
Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, 65
Email: arsengizzatov@mail.ru

Валеев Данис Ирекович, магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений РГУ нефти и газа им. Губкина
Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, 65
E-mail: danis_v02@mail.ru

Хазиев Радмир Римович, научный сотрудник лаборатории геологического и экологического моделирования, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ
Россия, 420087, Казань, ул. Даурская, 28
E-mail: radmir361@mail.ru

Authors

A.V. Dengayev, PhD, Associate Professor of the Department of Oil Field Development and Exploitation, Gubkin Russian State University of Oil and Gas

65, Leninsky Avenue, Moscow, 119991, Russian Federation
E-mail: nttm_smena@mail.ru

A.Yu. Gizzatov, Master's Student at the Department of Oil Field Development and Exploitation,
Gubkin Russian State University of Oil and Gas
65, Leninsky Avenue, Moscow, 119991, Russian Federation
Email: arsengizzatov@mail.ru

D.I. Valeev, Master's Student at the Department of Oil Field Development and Exploitation,
Gubkin Russian State University of Oil and Gas
65, Leninsky Avenue, Moscow, 119991, Russian Federation
E-mail: danis_v02@mail.ru

R.R. Khaziev, Researcher at the Laboratory of Geological and Environmental Modeling at the
Institute of Ecology and Subsoil Use Tatarstan Academy of Sciences
28, Daur'skaya Str., Kazan, 420087, Russian Federation
E-mail: radmir361@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.03.2025

Принята к публикации 17.06.2025

Опубликована 30.06.2025