

Научная статья

УДК 622.276.8:665.6.035.6

doi: 10.17223/24135542/40/6

## **Влияние магнитной обработки и оксигидратов железа на структурно-реологические свойства нефти**

**Юлия Владимировна Лоскутова<sup>1</sup>, Валерия Анатольевна Исанова<sup>2</sup>,  
Галина Ивановна Волкова<sup>3</sup>, Наталья Васильевна Юдина<sup>4</sup>**

*<sup>1, 2, 3, 4</sup> Институт химии нефти Сибирского отделения  
Российской академии наук, Томск, Россия*

*<sup>1</sup> reoloil@ipc.tsc.ru*

*<sup>2</sup> isanova.2002@mail.ru*

*<sup>3</sup> pat@ipc.tsc.ru*

*<sup>4</sup> natal@ipc.tsc.ru*

**Аннотация.** В настоящее время увеличивается добыча высокопарафинистых и высоковязких нефтей, характеризующихся высокой температурой застывания и аномально высокой вязкостью. Такие нефти в процессе добычи, транспорта и хранения с понижением температуры значительно ухудшают свои структурно-реологические характеристики, что приводит к износу оборудования, дополнительным материальным затратам и ухудшению экологической ситуации на промысле и при транспортировке нефти по трубопроводам. Применение различных вариантов физических полей при воздействии на нефтесодержащие системы с целью изменения их свойств вызывает высокий интерес у исследователей, так как позволяет с учетом индивидуальных особенностей и при правильном выборе типа воздействия перестраивать структуру в нужном направлении. Так, в магнитном поле может наблюдаться снижение вязкостно-температурных характеристик нефтей за счет разрыва слабых межмолекулярных или водородных связей молекулярных комплексов (кластеров).

В работе исследовано влияние магнитного поля и добавок 0,01 мас. % оксигидратов железа на две высокопарафинистые нефти, различающиеся содержанием смол, асфальтенов и парафиновых углеводородов, для улучшения их структурно-реологических свойств. Изучена возможность использования в качестве добавок кристаллического ферромагнитного оксида железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а также обладающего парамагнитными свойствами оксигидрата железа, полученного при прокаливании при 250°C минерального осадка очистки артезианской воды из отстойника водозабора Томского Академгородка. Осадок водоочистки во влажном состоянии имеет гелеобразную консистенцию светло-коричневого цвета, а при высушивании твердеет, но легко растирается в мелкодисперсный порошок.

Исследование влияния на структурно-реологические характеристики высокопарафинистых нефтей различного состава добавок оксигидратов железа с последующей магнитной обработкой показало, что магнитное поле снижает только значения параметров, характеризующих поведение нефти в состоянии покоя (предела текучести и статической вязкости). Ввод в нефти 0,01 мас. % парамагнитного железа с последующей магнитной обработкой не приводит к значительным изменениям вязкостно-температурных и энергетических характеристик, а обработка полей нефти с добавками ферромагнитного оксида железа сопровождается значительным увеличением вязкости.

Представленные в работе результаты не подтверждают сделанные ранее в литературе выводы, что взаимодействие с магнитным полем ферромагнитных частиц приводит к разрушению существующих в нефти коллоидных агрегатов, влияющих на вязкостно-температурные характеристики добываемой нефти.

**Ключевые слова:** парафинистая нефть, магнитное поле, оксигидрат железа, вязкость

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР № 121031500049-8).

**Для цитирования:** Лоскутова Ю.В., Исанова В.А., Волкова Г.И., Юдина Н.В. Влияние магнитной обработки и оксигидратов железа на структурно-реологические свойства нефти // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2025. № 40. С. 53–63. doi: 10.17223/24135542/40/6

Original article

doi: 10.17223/24135542/40/6

## **The influence of magnetic treatment, iron oxides and oxyhydrates on the rheological properties of oil**

**Yulia V. Loskutova<sup>1</sup>, Valeria A. Isanova<sup>2</sup>,  
Galina I. Volkova<sup>3</sup>, Natalia V. Yudina<sup>4</sup>**

*<sup>1, 2, 3, 4</sup> Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation*

*<sup>1</sup> reoloi@ipc.tsc.ru*

*<sup>2</sup> isanova.2002@mail.ru*

*<sup>3</sup> pat@ipc.tsc.ru*

*<sup>4</sup> natal@ipc.tsc.ru*

**Abstract.** Currently, the production of highly paraffinic and highly viscous crude oils, characterized by high pour points and abnormally high viscosity, is increasing. During production, transportation, and storage, as temperatures decrease, these oils significantly deteriorate their structural and rheological properties, leading to equipment wear, additional material costs, and environmental degradation at the field and during oil transportation through pipelines. The use of various types of physical fields to influence oil-containing systems to alter their properties is of great interest to researchers, as it allows for the structure to be restructured in the desired direction, taking into account individual characteristics and selecting the correct type of action. For example, a magnetic field can reduce the viscosity-temperature properties of crude oils due to the rupture of weak intermolecular or hydrogen bonds in molecular complexes (clusters).

This study examined the effects of a magnetic field and 0.01% wt. Iron oxyhydrates were added to two highly paraffinic crude oils differing in resin, asphaltene, and paraffinic hydrocarbon content to improve their structural and rheological properties. The possibility of using crystalline ferromagnetic iron oxide Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as additives, as well as iron oxyhydrate, which has paramagnetic properties and was obtained by calcining mineral sediment from the purification of artesian water from a settling pond at the Tomsk Akademgorodok water intake at 250°C, was studied. The water purification sediment has a light-brown gel-like consistency when wet, and hardens upon drying, but is easily ground into a fine powder.

A study of the effect of iron oxyhydrate additives on the structural and rheological properties of highly paraffinic crude oils of varying compositions, followed by magnetic treatment, showed that a magnetic field only reduces the parameters characterizing the behavior of the oil at rest (yield strength and static viscosity). The addition of 0.01% by weight of paramagnetic iron to oil followed by magnetic treatment does not lead to significant changes in the viscosity-temperature and energy characteristics, while magnetic field treatment of oil containing ferromagnetic iron oxide additives results in a significant increase in viscosity.

The results presented in this study do not confirm previous conclusions in the literature that interaction of ferromagnetic particles with a magnetic field leads to the destruction of colloidal aggregates existing in the oil, which affect the viscosity-temperature characteristics of the extracted oil.

**Keywords:** paraffinic crude oil, magnetic field, iron oxyhydrate, viscosity

**Acknowledgments:** This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Registration Number 121031500049-8).

**For citation:** Loskutova, Yu.V., Isanova, V.A., Volkova, G.I., Yudina, N.V. The influence of magnetic treatment, iron oxides and oxyhydrates on the rheological properties of oil. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Chimia – Tomsk State University Journal of Chemistry*, 2025, 40, 53–63. doi: 10.17223/24135542/40/6

## **Введение**

В настоящее время увеличивается добыча высокопарафинистых и высоковязких нефтей, характеризующихся высокой температурой застывания и аномально высокой вязкостью. Такие нефти в процессе добычи, транспорта и хранения с понижением температуры значительно ухудшают свои реологические характеристики. Это приводит к повышенному износу оборудования, дополнительным материальным затратам и ухудшению экологической ситуации. Для преодоления таких проблем существуют специальные методы: тепловые, механические, химические (добавка различных химических реагентов и ПАВ), а также обработки различными видами физических полей [1].

В последние годы усилился интерес к малоэнергетическим воздействиям, с помощью которых можно без заметных внешних энергетических затрат или с использованием внутренних резервов вещества перестраивать его структуру. В качестве внешних воздействий, влияющих на структуру веществ, в том числе и нефтяных дисперсных систем, могут быть использованы различные варианты электрических, магнитных, вибрационных или акустических полей [2]. При этом сравнительно легко достигаются эффекты, соответствующие увеличению или, наоборот, снижению упорядоченности в надмолекулярной структуре веществ.

Обработка нефти и нефтепродуктов магнитным полем используется как один из технологических приемов, позволяющих, например, снижать скорость роста отложений парафинов, ускорять сепарацию нефти и воды, снижать вязкость нефти и т.д. В работе [3] представлены физико-химические механизмы действия магнитного поля на нефтесодержащие системы (нефть, водонефтяные эмульсии, нефтяные осадки, мазуты, дизельное топливо),

в основе которых лежит предположение о присутствии в обрабатываемых растворах примесей коллоидных ферромагнитных частиц железа, существующих в виде агрегатов, в том числе с участием имеющихся в растворе других коллоидных частиц. По этому представлению при взаимодействии с магнитным полем ферромагнитных частиц происходит разрушение агрегатов, что влияет на ход физико-химических процессов.

Цель работы – изучить влияние магнитного поля и добавок ферромагнитного, парамагнитного и диамагнитного железа на структурно-реологические свойства двух парафинистых нефтей различного состава.

## **Методы**

В качестве добавок использовали образцы кристаллического оксида железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а также оксигидрат железа (ОГЖ), обладающий пара- и диамагнитными свойствами [4]. Образцы ОГЖ были получены из минерального осадка очистки артезианской воды от железа из отстойника водозабора Томского Академгородка. Осадок водоочистки от железа во влажном состоянии имеет гелеобразную консистенцию светло-коричневого цвета, а при высушивании твердеет, но легко растирается в мелкодисперсный порошок.

Элементный состав осадка определялся с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре VRA-30; источник излучения – рентгеновская трубка с Мо-анодом.

Кривые рассеяния рентгеновских лучей записывали на дифрактометре ДРОН-3 в диапазоне средних и больших углов  $2\theta = 3\text{--}60^\circ$  ( $\text{MoK}_\alpha$  с длиной волны  $\lambda = 0,71065$  нм) с непрерывным сканированием со скоростью  $1^\circ/\text{мин}$ .

Электронно-микроскопические изображения частиц ОГЖ получены с использованием высокоразрешающего просвечивающего электронного микроскопа серии ПЭМ-125 из осадка, высушенного при комнатной температуре, после термической обработки в вакуумном сушильном шкафу при  $250^\circ\text{C}$  в течение 3 ч (ОГЖ-250).

ИК-спектры регистрировали на FTIR-спектрометре NICOLET 5700 на пластинах из KBr в соотношении 1:300 в области  $400\text{--}4\,000\text{ см}^{-1}$ . Обработку спектров и определение оптической плотности проводили с помощью программного обеспечения OMNIC 7.2 Thermo Nicolet Corporation.

Образцы железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и ОГЖ-250 концентрацией 0,01 мас. % добавляли при комнатной температуре и интенсивном перемешивании в течение 10 мин в образцы парафинистых нефтей Северо-Останинского (Н1) и Карасевского (Н2) нефтегазоносных месторождений (Томская область; табл. 1). Нефти различаются по плотности  $\rho_{20}$ , температуре застывания  $T_3$ , содержанию смолисто-асфальтеновых компонентов (САК): асфальтенов (А), смол (С) и парафиновых углеводородов (ПУ).

Асфальтены и смолы как наиболее химически активные компоненты нефти характеризуются наличием свободных стабильных радикалов (ССР) и различных комплексных соединений четырехвалентного ванадия, которые обуславливают парамагнитные свойства нефти [5]. Согласно данным

табл. 1, в нефти Н1 количество парамагнитных центров (ПМЦ) в десятки раз меньше, чем в смолистой нефти Н2, а ванадиловые комплексы (ВК) в Н1 полностью отсутствуют.

Таблица 1

**Физико-химические характеристики исследуемых нефтей**

| Нефти | $\rho^{20}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $T_3$ , °C | A   | C    | ПУ   | ПУ/САК | Содержание ПМЦ<br>(ССР/ВК), 10 <sup>17</sup> , спин/г |
|-------|------------------------------------|------------|-----|------|------|--------|---|
| Н1    | 828                                | 16         | 1,6 | 2,1  | 16,0 | 4,32   | 0,54/нет  |
| Н2    | 873                                | –15        | 3,9 | 10,0 | 6,3  | 0,45   | 32,9/5,9  |

Магнитную обработку (МО) исследуемых нефтей осуществляли с помощью магнитного активатора проточного типа серии МАУТ (ООО ПКФ «Экси-Кей», Томск), созданного на основе постоянных магнитов Ne–Fe–В (индукция 0,3–0,4 Т). МАУТ позволяет получить несколько зон с чередующимися направлениями радиального магнитного поля. Обработку знакопеременным магнитным полем проводили, пропуская нефть по тefлоновой трубке диаметром 5 мм при температуре 20°C в проточном режиме течения со скоростью 7,5 см<sup>3</sup>/мин. Время пребывания нефти в рабочей зоне МАУТ составляло порядка 2–4 с.

Для реологических исследований поведения нефти использовали вискозиметр серии DV III Ultra (модель LVDV-III+, Brookfield, США), который позволяет проводить непрерывные измерения и отображения данных за счет применения термостатируемой цилиндрической измерительной системы типа «конус–конус» с адаптером для малых образцов SSA и встроенным термодатчиком. Перед реологическими исследованиями образцы помещали в адаптер и перемещали в цилиндр из нержавеющей стали с рубашкой, подключенной к термостату с циркулирующей водяной баней, далее термостатировали в течение 30 мин при температуре 40°C. Контроль параметров (температура, скорость сдвига, частота измерений) осуществлялся специализированной компьютерной программой RheoCalc.

Для исследуемых образцов нефти получали зависимости кажущейся динамической вязкости  $\eta$  и напряжения сдвига  $\tau$  от скорости сдвига при 20°C, по которым рассчитывали значения предела текучести  $\sigma_t$ , статической  $\eta_0$  и пластической вязкости  $\mu$ .

## Результаты

Формирование осадка оксигидратов железа описывается реакциями, приводящими в итоге к образованию гетита [6]. Исходный образец и продукты его термообработки состоят из наноразмерных частиц. Прокаливание исходного образца (с максимумом распределения частиц  $23 \pm 6,2$  нм) при умеренных температурах (до 300°C) способствует укрупнению частиц, когда максимум распределения частиц по размерам образца ОГЖ-250 сдвигается в область до 28 нм (рис. 1).

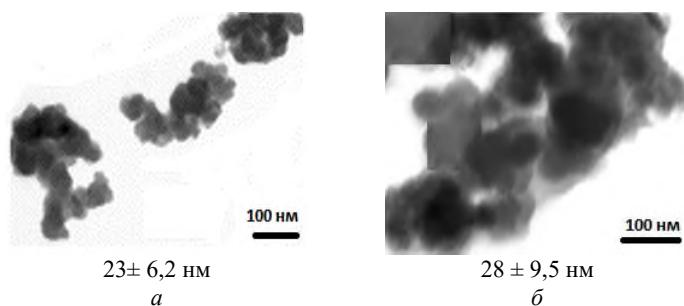


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение частиц ОГЖ при комнатной температуре (а) и при 250°C (б)

Образец ОГЖ по результатам РФА в основном содержит  $\text{Fe}^{3+}$  (99–98 мас. %) и примеси двухвалентных металлов [4]. Исходный осадок ОГЖ (рис. 2, кривая 1), а также образец ОГЖ-250 (рис. 2, кривая 2), прокаленный при 250°C, рентгеноаморфны. Минеральный осадок представлен в основном аморфной формой гидратированной  $\text{FeOON}$ .

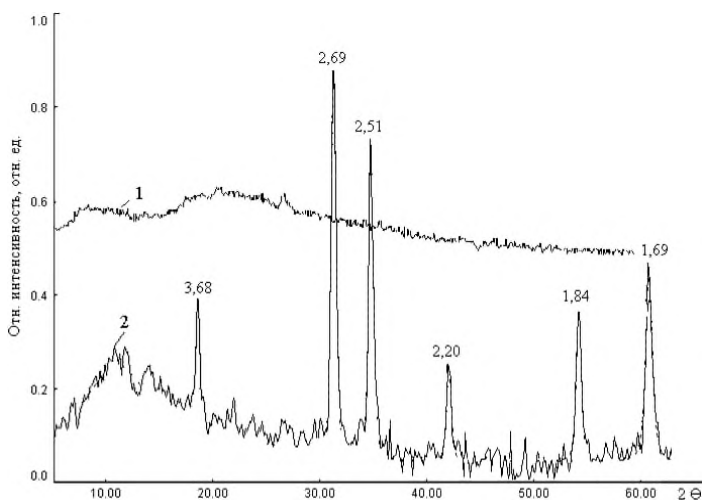


Рис. 2. Рентгенограммы образцов ОГЖ, полученных при комнатной температуре (1) и при 250°C (2)

На ИК-спектре исследуемых образцов ОГЖ широкая полоса поглощения в области  $3\,400\text{ см}^{-1}$  относится к валентным колебаниям молекулярной воды и ОН-групп, а полоса  $1\,630\text{ см}^{-1}$  – к деформационным колебаниям адсорбированной молекулярной воды (рис. 3, спектр 1). С увеличением температуры обработки отмечается снижение интенсивности полос  $3\,400$  и  $1\,630\text{ см}^{-1}$ , отнесенных к адсорбированной воде.

Для ОГЖ-250 наблюдается уширение полосы в области  $460\text{--}600\text{ см}^{-1}$ , свидетельствующее о начале структурных преобразований в осадке (рис. 3, спектр 2).

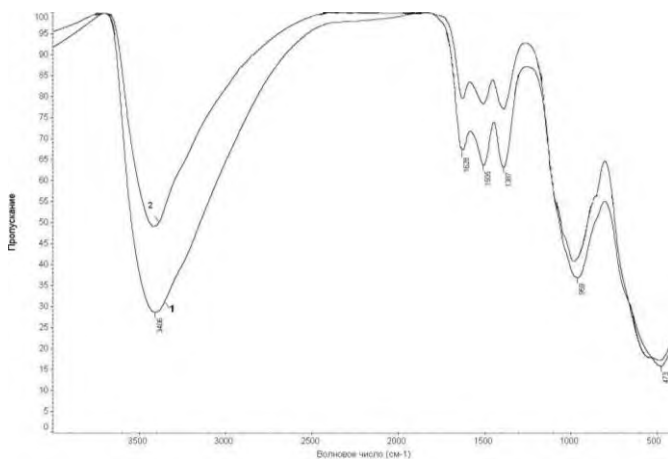


Рис. 3. ИК-спектры образцов ОГЖ, полученные при комнатной температуре (1); и при 250°C (2)

Обработка магнитным полем высокопарафинистой малосмолистой нефти Н1 (ПУ/САК = 4,32) приводит к понижению статической вязкости  $\eta_0$  на 22,2%, а эффективной  $\mu$  – всего на 9,3 (рис. 4, а, табл. 2).

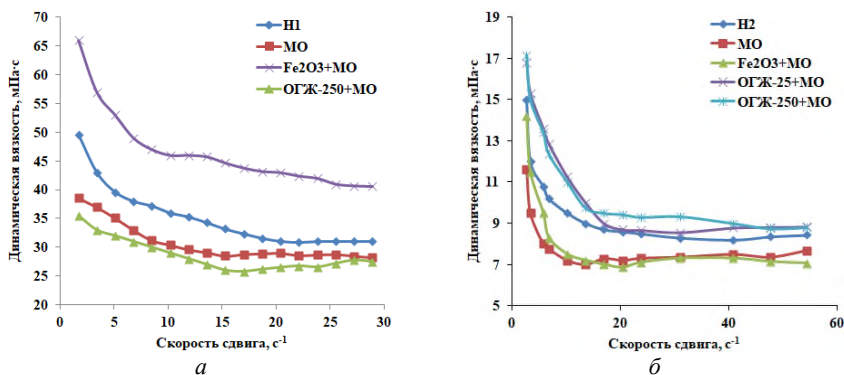


Рис. 4. Зависимость динамической вязкости от скорости сдвига парафинистых нефтей после различных видов воздействия: Н1 (а); Н2 (б)

При введении в нефть образца ферромагнетика  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с последующей обработкой в магнитном поле, напротив, наблюдается значительное увеличение вязкости на 30–33%. С добавлением в нефть Н1 0,01 мас. % ОГЖ-250 эффективность магнитного воздействия на вязкость возрастает до 28,4%. При этом значение предела текучести  $\sigma_T$  после всех видов обработки или не изменяется, или возрастает.

Последовательность обработки – введение в нефть добавки ОГЖ с последующей обработкой полем – была выбрана по результатам ранее проведенных исследований [7]. После МО нефти эффект от ввода реагента существенно ниже. После МО вязкость высокопарафинистой смолистой нефти

H2 (ПУ/САК = 0,45) в статических условиях снижается на 9,6%, а при увеличении сдвиговой скорости эффективность обработки магнитным полем возрастает до 23% (рис. 4, б, табл. 2). Снижение динамической вязкости и предела текучести  $\sigma_t$  после МО может быть связано в первую очередь с разрывом в магнитном поле слабых ассоциативных связей между смолисто-асфальтеновыми веществами или водородных связей между парафиновыми углеводородами нефти [7].

Таблица 2

**Влияние магнитной обработки и добавок  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и ОГЖ на реологические и энергетические характеристики нефти**

| Параметры нефти            | Исх. | МО   | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ + МО | ОГЖ + МО |
|----------------------------|------|------|------------------------------|----------|
| H1 $\sigma_t$ , Па         | 1,12 | 0,2  | 0,51                         | 1,12     |
| $\eta_0$ , мПа·с           | 49,6 | 38,6 | 66,0                         | 35,5     |
| $\mu$ , мПа·с              | 31,1 | 28,2 | 40,6                         | 27,5     |
| $\Delta W \cdot 10^3$ , Дж | 12   | 32   | 19                           | 23       |
| H2 $\sigma_t$ , Па         | 0,41 | 0,31 | 0,71                         | 0,41     |
| $\eta_0$ , мПа·с           | 8,3  | 7,5  | 7,2                          | 9,0      |
| $\mu_{\text{эф}}$ , мПа·с  | 15,0 | 11,6 | 14,2                         | 17,1     |
| $\Delta W \cdot 10^3$ , Дж | 7,2  | 8    | 15                           | 7        |

В магнитообработанной нефти H1 с добавками оксида железа наблюдается увеличение пластической  $\mu$  и статической вязкости  $\eta_0$ , а при добавлении парамагнитного железа ОГЖ-250, напротив, она снижается на 11,6 и 28,4% соответственно. Значение предела текучести  $\sigma_t$  или практически не изменяется, или снижается. МО нефти H2 с добавкой  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и ОГЖ практически не влияет на реологические характеристики нефти.

Образец ОГЖ, полученный при комнатной температуре и обладающий диамагнитными свойствами, показал очень незначительную эффективность при добавке его в нефти H1 и H2. Возможно, низкая активность ОГЖ-25 в условиях проведения эксперимента объясняется тем, что он не взаимодействует со смолисто-асфальтеновыми компонентами и парафиновыми углеводородами исследуемых нефтей, выступая в роли механических примесей.

Для определения суммарного расхода энергии  $\Delta W$ , необходимой для разрушения структуры парафинистых нефтей, рассчитывали энергетические параметры гидромеханического разрушения надмолекулярной структуры по методике [8]. Рассчитанные по петлям гистерезиса значения  $\Delta W$  нефти H1 и H2 до и после МО и ввода добавок оксигидратов железа представлены в табл. 3. Показано, что полного разрушения тиксотропной структуры парафинистых нефтей с различным содержанием компонентов дисперсной фазы после магнитного воздействия, добавок ферромагнитного и парамагнитного железа, а также после их последующей обработки полем не происходит. Только после МО высокопарафинистой смолистой нефти H2 значение энергии  $\Delta W$  снижается в 1,9 раза.



Различия в поведении в магнитном поле парафинистых нефтей Н1 и Н2 без добавок и с добавками ферромагнитного и парамагнитного железа в первую очередь связаны с количеством и реакционной активностью смол и асфальтенов, содержащихся в исследуемых нефтях.

### **Заключение**

Исследование влияния на структурно-реологические характеристики высокопарафинистых нефтей различного состава добавок оксигидратов железа с последующей магнитной обработкой показало, что магнитное поле снижает только значения параметров, характеризующих поведение нефти в состоянии покоя (предела текучести и статической вязкости). Ввод в нефти 0,01 мас. % парамагнитного железа с последующей магнитной обработкой не приводит к значительным изменениям вязкостно-температурных и энергетических характеристик, а обработка полем нефти с добавками ферромагнитного оксида железа сопровождается значительным увеличением вязкости.

Представленные в работе результаты не подтверждают сделанные ранее в литературе выводы, что взаимодействие с магнитным полем ферромагнитных частиц железа приводит к разрушению существующих в нефти коллоидных агрегатов, влияющих на вязкостно-температурные характеристики добываемой нефти.

### **Список источников**

1. Волкова Г.И., Лоскутова Ю.В., Прозорова И.В., Березина Е.М. Подготовка и транспорт проблемных нефтей : (научно-практические аспекты). Томск : Изд-во ТГУ, 2015. 136 с.
2. Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В. Реологическое и коллоидно-структурное поведение высоковязкой нефти и эмульсии после волнового воздействия // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2024. № 32 (1). С. 61–71. doi: 10.15372/CSD2024531
3. Лесин В.И., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б. Магнитные наночастицы в нефти // *Нефтехимия*. 2010. № 50 (2). С. 114–117.
4. Писарева С.И., Волкова Г.И. Адсорбционные свойства осадка очистки воды от железа // *Экология и промышленность России*. 2009. № 6. С. 28–29.
5. Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В., Писарева С.И. Влияние магнитного поля на парамагнитные, антиоксидантные и вязкостные характеристики ряда нефтей // *Нефтехимия*. 2008. № 48 (1). С. 50–54. doi: 10.1134/S0965544108010106
6. Скороходова Т.С., Коботаева Н.С., Сироткина Е.Е. Изучение реакционной способности нанопорошков меди в модельной реакции окисления изопропилбензола // *Журнал прикладной химии*. 2005. № 78 (5). С. 767–771.
7. Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В. Влияние магнитного поля и химических реагентов на структурно-механические характеристики высокопарафинистой нефти // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2020. № 28 (2). С. 186–191. doi: 10.15372/KhUR2020218
8. Морозова А.В., Волкова Г.И. Влияние нефтяных смол и ультразвуковой обработки на свойства нефтеподобной системы // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2020. № 28 (5). С. 508–514. doi: 10.15372/KhUR20202570

## References

1. Volkova, G.I., Loskutova, Yu.V., Prozorova, I.V., Berezina, E.M. *Podgotovka i transport problemnykh neftey (nauchno-prakticheskie aspekty)* [Preparation and transport of problem oils (scientific and practical aspects)]. Tomsk: TSU Publishing House, 2015. 136 p.
2. Loskutova, Yu.V., Yudina, N.V. Reologicheskoe i kolloidno-strukturnoe povedenie vysokovyazkoy nefiti i emulsii posle volnovogo vozdeystviya [Effect of the Conditions of Low-Frequency Acoustic Treatment on the Stability of Oil-Water Emulsions of Oil from the Ignialinskoye Deposit]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya – Chemistry for Sustainable Development*, 2024, 32(1), 61–71. DOI: 10.15372/CSD2024531.
3. Lesin, V.I., Koksharov, Yu.A., Khomutov, G.B. Magnitnye nanchastitsy v nefiti [Magnetic nanoparticles in petroleum]. *Neftekhimiya – Petroleum Chemistry*, 2010, 50(2), 114–117.
4. Pisareva, S.I., Volkova, G.I. Adsorbtsionnye svoystva osadka oчитки vody ot zheleza [Adsorption properties of iron removal water treatment sludge]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii – Ecology and Industry of Russia*, 2009, 6, 28–29.
5. Loskutova, Yu.V., Yudina, N.V., Pisareva, S.I. Vliyanie magnitnogo polya na paramagnitnye, antioksidantnye i vyazkostnye kharakteristiki ryada neftey [Effect of Magnetic Field on the Paramagnetic, Antioxidant and Viscosity Characteristics of Some Crude Oils]. *Neftekhimiya – Petroleum Chemistry*, 2008, 48(1), 50–54. DOI: 10.1134/S0965544108010106.
6. Skorokhodova, T.S., Kobotaeva, N.S., Sirotkina, E.E. Izuchenie reaktsionnoy sposobnosti nanoporoshkov medyi v model'noy reaktsii okisleniya izopropilbenzola [Studying the reactivity of copper nanopowders in a model reaction of isopropylbenzene oxidation]. *Zhurnal prikladnoy khimii – Journal of Applied Chemistry*, 2005, 78(5), 767–771.
7. Loskutova, Yu.V., Yudina, N.V. Vliyanie magnitnogo polya i khimicheskikh reagentov na strukturno-mekhanicheskie kharakteristiki vysokoparafinistoy nefiti [The effect of a magnetic field and chemical additives on the structural and mechanical characteristics of highly paraffinic crude oil]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya – Chemistry for Sustainable Development*, 2020, 28(2), 186–191. DOI: 10.15372/KhUR2020218
8. Morozova, A.V., Volkova, G.I. Vliyanie nefityanykh smol i ul'trazvukovoy obrabotki na svoystva neftepodobnoy sistemy [The influence of petroleum resins and ultrasonic treatment on the properties of an oil-like system]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya – Chemistry for Sustainable Development*, 2020, 28(5), 508–514. DOI: 10.15372/KhUR20202570.

### **Сведения об авторах:**

**Лоскутова Юлия Владимировна** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории реологии нефти Института химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (Томск, Россия). E-mail: reoloil@ipc.tsc.ru

**Исанова Валерия Анатольевна** – аспирант, инженер лаборатории реологии нефти Института химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (Томск, Россия). E-mail: isanova.2002@mail.ru

**Волкова Галина Ивановна** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории реологии нефти Института химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (Томск, Россия). E-mail: pat@ipc.tsc.ru

**Юдина Наталья Васильевна** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией реологии нефти Института химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (Томск, Россия). E-mail: natal@ipc.tsc.ru

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

***Information about the authors:***

**Loskutova Yulia V.** – Ph.D., Senior Researcher, Laboratory of Oil Rheology, Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russian Federation). E-mail: reoloil@ipc.tsc.ru

**Isanova Valeria A.** – Post-Graduate Student, Engineer, Laboratory of Oil Rheology, Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russian Federation). E-mail: isanova.2002@mail.ru

**Volkova Galina I.** – Ph.D., Senior Researcher, Laboratory of Oil Rheology, Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russian Federation). E-mail: pat@ipc.tsc.ru

**Yudina Natalia V.** – Ph.D., Leading Researcher, Head of the Laboratory of Oil Rheology, Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russian Federation). E-mail: natal@ipc.tsc.ru

***Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.***

***The authors declare no conflicts of interests.***

*Статья поступила в редакцию 28.10.2025; принята к публикации 03.12.2025*

*The article was submitted 28.10.2025; accepted for publication 03.12.2025*