

## Добыча полезных ископаемых

DOI: 10.34828/UdSU.2024.27.43.001

УДК 622.276.8

*Е.О. Жукова, С.Ю. Борхович, Н.Н. Лушников*

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КИСЛОТНО-ПРОПАНТНОГО ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЯЗКОУПРУГОГО ПАВ – СУРФОГЕЛЯ МАРКИ АФ

**Аннотация.** В статье рассмотрен один из видов технологии кислотного-пропантного гидроразрыва пласта (КПГРП) с использованием вязкоупругого поверхностно-активного вещества (ВУ ПАВ) – Сурфогеля марки АФ в кислотном составе для месторождений Удмуртской Республики для интенсификации добычи нефти. Проанализированы основные сформировавшиеся проблемы КПГРП. Рассмотрен опыт внедрения КПГРП с ВУ ПАВ на Арланском нефтяном месторождении.

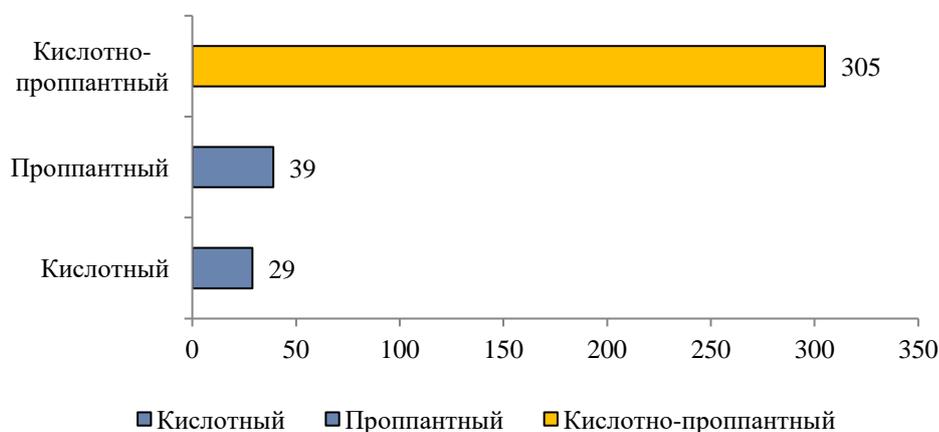
**Ключевые слова:** кислотно-пропантный гидроразрыв пласта (КПГРП), вязкоупругое поверхностно-активное вещество (ВУ ПАВ), кислотный состав, жидкость разрыва, трещина, скважина.

*Для цитирования:* Жукова Е.О., Борхович С.Ю., Лушников Н.Н. Оценка эффективности кислотного-пропантного гидроразрыва пласта с использованием вязкоупругого ПАВ – Сурфогеля марки АФ // Управление техносферой: электрон. журнал, 2024. Т.7. Вып.3. URL:<https://technosphere-ing.ru> С. 375–385. DOI: 10.34828/UdSU.2024.27.43.001.

В настоящее время нефтяная отрасль разрабатывает низкопроницаемые коллекторы, вовлекая трудноизвлекаемые запасы (ТРИЗ) нефти, на которые приходится примерно 60% всех запасов России [1]. Основная доля запасов сосредоточена в терригенных и карбонатных коллекторах. К последним приурочена большая часть запасов в Удмуртии. Одним из наиболее эффективных и распространенных методов интенсификации притока является гидроразрыв пласта (ГРП), который в зависимости от условий и длительности практики его применения претерпел ряд изменений [2].

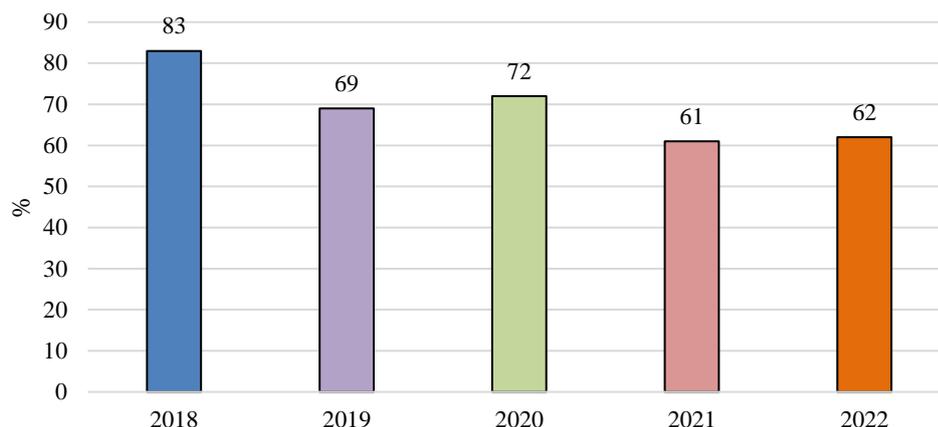
Технология традиционного пропантного ГРП (ПГРП) применяется преимущественно в обломочных (терригенных) коллекторах. Именно поэтому на сегодняшний день на месторождениях Удмуртской Республики метод ПГРП стремительно теряет свою актуальность, поскольку возникает сложность в подборе скважин-кандидатов, ранее не использованных для проведения этой операции.

Наибольший успех достигла разновидность метода ГРП – кислотный гидроразрыва пласта с применением пропанта (рис. 1.). Впервые промышленное испытание технологии кислотно-пропантного ГРП на месторождениях ПАО «Удмуртнефть» было проведено в 2017 году. Благодаря грамотному подходу к осуществлению операции КПГРП удалось достичь рентабельного прироста добычи нефти. Вследствие этого адаптирование мероприятия к геологическим условиям Удмуртской Республики является на сегодняшний день важной задачей [3].



**Рис. 1. Проведение видов ГРП на месторождениях Удмуртской Республики**

Но на текущий день технология КПГРП является недостаточно эффективной, и количество скважин-кандидатов для проведения мероприятия по классической схеме становится все меньше (рис. 2.).



**Рис. 2. Успешность КПГРП на Ельниковском м/р с 2018-2022 гг.**

Также в таблице 1 приведены результаты КПГРП на скважине Ельниковского месторождения.

Таблица 1

Результаты проведённого кислотно-пропантного ГРП по классической схеме на скважине Ельниковского месторождения в 2023 г.

Остановочные параметры			Расчетные параметры, план				Параметры на запуске					Текущее состояние					
Qн, тн/сут	Qж, м3/сут	%	Рзаб, атм	Qн, тн/сут	Qж, м3/сут	%	dQн, тн/сут	Qн, тн/сут	Qж, м3/сут	%	Рзаб, атм	dQн, тн/сут	Qн, тн/сут	Qж, м3/сут	%	Рзаб, атм	dQн, тн/сут
9,9	20	44	14	18,6	42	50	8,7	5,0	47	88	14	-4,9	3,8	27	84	8	-6,1

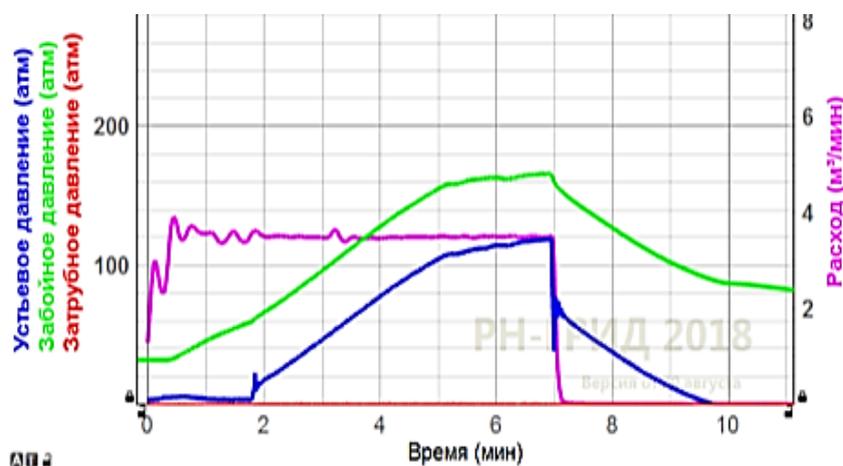
На основании данных табл. 1 выявлено, что после проведения КПГРП наблюдается отрицательный эффект: значительный рост обводненности скважины и сокращение добычи по нефти почти в 2 раза.

С целью установления причин неэффективности геолого-технического мероприятия (ГТМ) проведен анализ на скважинах, где ранее проведен КПГРП и выявлены следующие проблемы:

- поглощение кислотного состава высокопроницаемым пропластком, обусловленное низким пластовым давлением;

- в результате низкопроницаемые пропластки остаются непростимулированными.

На рис. 3. представлен график зависимости устьевого, забойного и затрубного давлений, а также расхода кислотной системы от времени.



**Рис. 3. График зависимости устьевого, забойного и затрубного давлений, а также расхода кислотной системы от времени**

Из графика видно, что на 7-й минуте проведения КПГРП происходит резкое понижение рабочих давлений, обусловленное поглощением жидкости-разрыва более проницаемыми интервалами.

1. **Вынос части проппанта** из трещины в процессе разработки.
2. **Быстрое обводнение**, которое связано с двумя причинами:
  - близкое расположение водоносных горизонтов, в связи с реакционным воздействием кислоты с карбонатной массой породы по высокопроницаемым каналам замечен неконтролируемый рост трещины в обводнившийся пропласток;
  - прорыв фронта нагнетания со скважин ППД по высокопроницаемым пропласткам в созданную трещину [4].
3. **Кольматация червоточины** неразложившимися составляющими геля. Как правило, для создания жидкостей-разрыва используются составы с добавлением сшивателей и деструкторов полимера. В результате быстротекающей химической реакции часть составляющих жидкости-

разрыва не участвует в процессе растворения карбонатной породы и оседает в порово-трещинной структуре пласта.

4. **Низкие песконесущие свойства рабочего агента.** Быстрая потеря вязкости сшитого геля, а также высокие потери на трение [5].
5. **Высокая стоимость** проведения стандартного КПГРП в связи с ростом цен на химические реагенты и различные добавки.
6. **Высокие риски коррозии** внутрискважинного оборудования [6].



**Рис. 4. Распределение причин неэффективности КПГРП на месторождениях Удмуртии на 2022 г.**

Перечисленные проблемы по большей части связаны с непростыми фильтрационно-емкостными свойствами месторождений.

Так пласты верейско-каширо-подольского объекта Ельниковского нефтяного месторождения разработки отличаются достаточно сложным геологическим строением. К его осложняющим особенностям относятся: аномально высокая расчлененность, резкая литолого-тектоническая изменчивость, переслаивание водонасыщенных пропластков с нефтенасыщенными, развитие зональной неоднородности, а также наличие активной подошвенной воды.

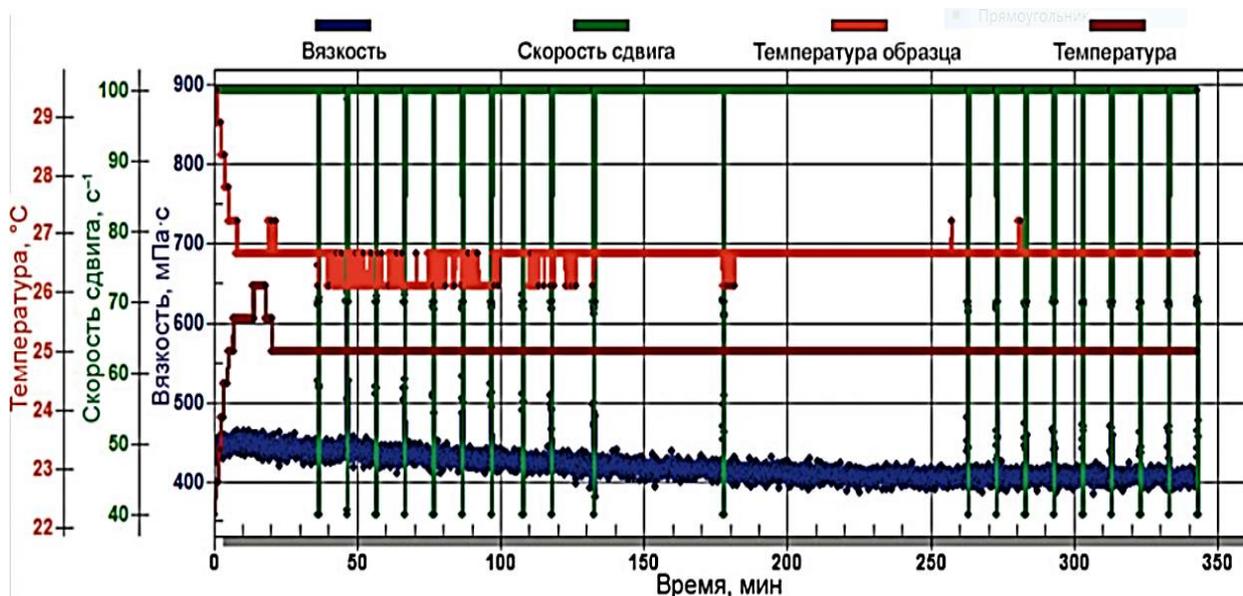
Карбонатные коллекторы характеризуются трещиновато-порово-кавернозным типом пустотного пространства и низкой проницаемостью, которая значительно затрудняет выработку запасов [7].

Для предотвращения вышеуказанных рисков месторождений Удмуртии предложена технология КПГРП с использованием вязкоупругого поверхностно активного вещества Сурфогеля марки АФ компании АО «Полиэкс» г. Пермь.

Предложенная кислотная система обладает следующими преимуществами:

- является отклонителем – временно блокирующим составом, который позволяет селективно отклонять последующие объемы кислотного состава в низкопроницаемые пропластки с созданием трещинной системы;

- обладает высокой удерживающей и несущей способностью по отношению к пропанту, благодаря стабильной вязкости кислотного состава с ВУ ПАВ, которая сохраняется в течение продолжительного времени: на 300 минуте вязкость поддерживается на уровне 400 мПа·с (рис. 5) [8]. При классической схеме КПГРП вязкость жидкости-разрыва не превышает 300 мПа·с. [9].



**Рис. 5. Тест на стабильность вязкости кислотного состава**

- не является кольматантом – разрушается при реакции с карбонатами и взаимодействии с углеводородами, размывается пластовой водой;

- является химически инертным по отношению к глинистым отложениям и не требует использования стабилизаторов, предотвращающих их набухание;
- упрощает процесс приготовления кислотного геля, снижает общее количество жидкости, закачиваемой в пласт;
- имеет низкую коррозионную активность. Скорость растворения стали 35 при 25 °С не превышает 0,2 г/м<sup>2</sup>·ч;
- снижает количество необходимой для проведения операции техники и оборудования.

Предложенная жидкость-разрыва на основе ВУ ПАВ не является универсальным средством для решения всех проблем, однако позволяет минимизировать большую их часть.

В 2021 г. на каширо-подольском объекте ООО «Башнефть-Добыча» проведены опытно-промысловые работы (ОПР) КПГРП с применением кислотных гелей на основе реагентов АО «Полиэкс» на 4 скважинах.

Успешность проведения КПГРП кислотными гелями на основе вязкоупругих ПАВ составила 100 % (табл. 2, 3).

Таблица 2

Результаты проведённого кислотно-пропантного ГРП с ВУ ПАВ на скважине Арланского месторождения

Дебит	До проведения КПГРП, ноябрь 2019 год	Расчетные параметры после КПГРП	Результаты проведенного КПГРП
Жидкость, м <sup>3</sup> /сут	4,6	21	27,5
Нефть, м <sup>3</sup> /сут	1,7	9,5	10
Обводненность, %	57	48	63

В результате проведения ОПР КПГРП на скважине Арланского месторождения дебит по жидкости составил 27,5 м<sup>3</sup>/сут, по нефти 10 м<sup>3</sup>/сут обводненность достигла 63 % [8, 9].

Таблица 3

Коэффициенты продуктивности до и после проведения КППРП с ВУ ПАВ  
на скважинах Арланского нефтяного месторождения

№ скв.	Остановочный параметр Кпрод	Расчетный параметр Кпрод	Запускной параметр Кпрод
1	0,067	0,383	0,354
2	0,045	0,491	0,482
3	0,016	0,274	0,123
4	0,110	0,280	0,400

Таким образом, предложенная жидкость-разрыва на основе ВУ ПАВ позволит сократить количество неэффективных ГТМ на месторождениях Удмуртской Республики, поскольку обладает необходимыми реологическими характеристиками: вязкостью и растворимостью. Благодаря этому состав имеет высокую удерживающую способность по отношению к проппанту, не является, в отличие от полимера, кольматантом и пригоден для создания гелевой структуры в соляной кислоте с концентрацией до 20 %, а также не требует применения брейкера для снижения вязкости системы, поскольку после проведения операции ГРП гель разрушается при реакции с карбонатной массой и углеводородами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сажин В.В., Селдинас И., Сажин В.Б. Трудноизвлекаемые запасы и «тяжелые нефти» России // Успехи в химии и химической технологии. 2008. Т 22. №12(92). С. 56 – 68.
- 2 Борисова Л.В. Опыт проведения кислотного проппантного ГРП на карбонатных коллекторах в ПАО «Удмуртнефть» при низких пластовых давлениях // Инновации. Наука. Образование. 2021. №45. С.73 – 76.
- 3 Применение кислотно-проппантного гидроразрыва пласта на месторождениях ОАО «Удмуртнефть» / А.Ю. Топал, Т.С. Усманов, А.М. Зорин, А.М. Хайдар, А.Н. Горин // Нефтяное хозяйство. 2018. №3. С. 34 – 37.

- 4 Мониторинг программы ГРП. Ижевск, ЗАО «ИННЦ», 2018. URL: <https://www.udmurtneft.ru/>. (Дата обращения: 12.01.2024).
- 5 Синельников И.А. Анализ возможных способов повышения эффективности повышения эффективности проведения многостадийного гидравлического разрыва пласта на нефтяных месторождениях // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №7 (109) г. URL: <https://elibrary.ru/kfbccw>. (дата обращения: 12.01.2024).
- 6 Бобков Д.О. Проблемы, возникающие при проведении ГРП, и возможности их решения // Современные научные исследования и инновации. 2017 г. № 7. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/07/84111> (дата обращения: 12.01.2024).
- 7 Анализ эффективности применения ГРП на Ельниковском нефтяном месторождении // А.Л. Яковлев, Г.В. Кусков, М.Л.Б.Машаду, Т.Б. Очередыко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2017. №1. С. 128 – 151.
- 8 АО «Полиэкс». Технологии и реагенты для гидроразрыва пласта бесполимерными жидкостями на основе ПАВ и кислотного пропантного ГРП гелями на основе ПАВ при повышенных пластовых температурах. Пермь, 2023. URL: <https://polyex.ru/tekhnologii-i-reagenty/>. (дата обращения: 12.01.2024).
- 9 Геологический отчет о проведенном ГРП. Ижевск: ПАО «Удмуртнефть», 2022.

Поступила в редакцию: 22.04.2024

### ***Сведения об авторах***

*Жукова Елизавета Олеговна*

Магистрант, Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», 426034, ул. Университетская, 1, г. Ижевск, Россия.

E-mail: [elizavetazhukova0204@gmail.com](mailto:elizavetazhukova0204@gmail.com)

*Борхович Сергей Юрьевич*

к.т.н., доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», 426034, ул. Университетская, 1, г. Ижевск, Россия.

E-mail: [syborhovich@yandex.ru](mailto:syborhovich@yandex.ru)

*Лушников Никита Николаевич*

Аспирант, Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет», 426034, ул. Университетская, 1, г. Ижевск, Россия.

E-mail: [lushnikovnn@belkam.com](mailto:lushnikovnn@belkam.com)

*E.O. Zhukova, S.Yu. Borkhovich, N.N. Lushnikov*

## EVALUATION OF ACID-PROPPANT HYDRAULIC FRACTURING EFFICIENCY USING VISCOELASTIC SURFACTANT - SURFOGEL GRADE AF

**Annotation.** The article considers one of the types of acid-proppant hydraulic fracturing technology (APHF) with the use of viscoelastic surface active substance (VE surfactant) - Surfogel grade AF in acid composition for the fields of the Udmurt Republic for oil production intensification. The main formed problems of APhF are analyzed. The experience of implementation of APhF with VE surfactant at Arlansky oil field is considered.

**Keywords:** acid-proppant hydraulic fracturing, viscoelastic surfactant, acid composition, fracturing fluid, fracture, well.

*For citation:* Zhukova E.O., Borkhovich S.Yu., Lushnikov N.N. [Evaluation of the effectiveness of acid-proppant hydraulic fracturing using a viscoelastic surfactant of the AF brand] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2024, vol. 7, issue 3. (In Russ.). Available at: <https://technosphere-ing.ru/> pp. 375–385. DOI: 10.34828/UdSU.2024.27.43.001.

### REFERENCES

- 1 Sazhin V.V., Seldinas I., Sazhin V.B. Trudnoizvlekaemye zapasy i «tyazhelye nefiti» Rossii [Hard-to-recover reserves and "heavy oils" of Russia]. *Uspexhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii* [Successes in chemistry and chemical technology]. 2008, vol. 22, no.12(92), pp. 56 – 68. (In Russ).
- 2 Borisova L.V. Opyt provedeniya kislotnogo proppantnogo GRP na karbonatnykh kollektorakh v PAO «Udmurtneft'» pri nizkikh plastovykh davleniyakh [The experience of conducting acidic proppant fracturing on carbonate reservoirs in PJSC Udmurtneft at low reservoir pressures]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie* [Innovations. Science. Education]. 2021, no.45, pp.73 – 76. (In Russ.).
- 3 Topal A.Yu., Usmanov T.S., Zorin A.M., Khaidar A.M., Gorin A.N. Primenenie kislotno-proppantnogo gidrorazryva plasta na mestorozhdeniyakh OAO «Udmurtneft'» [Application of acid-proppant hydraulic fracturing at the fields of JSC Udmurtneft]. *Neftyanoe khozyaistvo*. [Oil industry]. 2018, no.3, pp. 34 – 37. (In Russ.).
- 4 *Monitoring programmy GRP*. [Monitoring of the hydraulic fracturing program]. Izhevsk, ZAO «INNTs», 2018. Available at: <https://www.udmurtneft.ru/>. (Accessed: 12.01.2024). (In Russ.).
- 5 Sinel'nikov I.A. Analiz vozmozhnykh sposobov povysheniya effektivnosti povysheniya effektivnosti provedeniya mnogostadiinogo gidravlicheskogo razryva plasta na neftyanykh mestorozhdeniyakh [Analysis of possible ways to increase the efficiency of increasing the

- efficiency of multistage hydraulic fracturing in oil fields]. *International Scientific Research Journal [Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal]*. 2021, no.7 (109). Available at: <https://elibrary.ru/kfbccw>. (Accessed: 12.01.2024). (In Russ.).
- 6 Bobkov D.O. Problemy, vznikayushchie pri provedenii GRP, i vozmozhnosti ikh resheniya [Problems arising during hydraulic fracturing and the possibilities of their solution]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii [Modern scientific research and innovation]*. 2017, no. 7. Available at: <https://web.snauka.ru/issues/2017/07/84111>. (Accessed: 12.01.2024). (In Russ.).
- 7 Yakovlev A.L., Kuskov G.V., Mashadu M.L.B., Ochered'ko T.B. Analiz effektivnosti primeneniya GRP na El'nikovskom neftyanom mestorozhdenii [Analysis of the effectiveness of hydraulic fracturing at the Yelnikovskiy oil field Nauka. Tekhnika]. *Tekhnologii (politekhnicheskii vestnik). [Nauka. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin)]*. 2017, no.1, pp. 128 – 151. (In Russ.).
- 8 AO «Polieks». *Tekhnologii i reagenty dlya gidrorazryva plasta bespolimernymi zhidkostyami na osnove PAV i kislotno propantnogo GRP gelyami na osnove PAV pri povyshennykh plastovyykh temperaturakh*. [JSC "Polyex". Technologies and reagents for hydraulic fracturing with polymer-free surfactant-based liquids and acid-propane fracturing with surfactant-based gels at elevated reservoir temperatures]. Perm', 2023. Available at: <https://polyex.ru/tekhnologii-i-reagenty/>. (Accessed: 12.01.2024). (In Russ.).
- 9 *Geologicheskii otchet o provedennom GRP*. [Geological report on the conducted hydraulic fracturing]. Izhevsk: PAO «Udmurtneft'», 2022. (In Russ.).

Received: 22.04.2024

#### About the Authors

##### Zhukova Elizaveta Olegovna

Graduate student, M.S. Gutseriev Institute of Oil and Gas, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University", 426034, Universitetskaya str., 1, Izhevsk, Russia. E-mail: [elizavetazhukova0204@gmail.com](mailto:elizavetazhukova0204@gmail.com)

##### Borkhovich Sergey Yurievich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University", 426034, Universitetskaya str., 1, Izhevsk, Russia.

E-mail: [syborhovich@yandex.ru](mailto:syborhovich@yandex.ru)

##### Nikita Nikolaevich Lushnikov

Postgraduate student, M.S. Gutseriev Institute of Oil and Gas, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University", 426034, Universitetskaya str., 1, Izhevsk, Russia.

E-mail: [lushnikovnn@belkam.com](mailto:lushnikovnn@belkam.com)