

## НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ

## PETROLEUM ENGINEERING AND PROJECT MANAGEMENT

Научная статья  
УДК 535.015  
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-4-76-82>  
EDN PEPYNO

### Технологии увеличения нефтеотдачи на месторождениях Северного Каспия

*Дарья Сергеевна Саматоева, Татьяна Сергеевна Выборнова*<sup>✉</sup>

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, [tavyb@bk.ru](mailto:tavyb@bk.ru)*<sup>✉</sup>

---

**Аннотация.** Перманентная модернизация производственных процессов добычи углеводородного сырья является неотъемлемой частью рационального недропользования. Исследования и внедрения новейших технологий в процесс нефтедобычи обеспечивает производственную и экономическую эффективность. В мировой практике нефтедобычи накоплен огромный опыт экспериментальных исследований и практической реализации различных методов, способных существенно повысить нефтеотдачу. В процессе выбора метода или комбинации методов увеличения нефтеотдачи учитывается множество критериев, но первоочередными являются геологические условия залегания разрабатываемого месторождения, а также состав и физико-химические характеристики пластовых флюидов. Из всех методов увеличения нефтеотдачи наименее распространенным на сегодняшний день получил биологический метод вследствие своей малой изученности. Актуальность исследования и дальнейшего внедрения технологии повышения нефтеотдачи биологическим методом обусловлена в первую очередь критерием экологической безопасности. Весомым преимуществом биологического метода увеличения нефтеотдачи является то, что микроорганизмы способны к размножению и усилению биохимической активности в зависимости от физико-химических условий среды. Одним из биологических методов повышения нефтеотдачи является активация пластовой микрофлоры. Данная технология заключается в циклической закачке питательной среды в пласт, что стимулирует увеличение в нем количества некоторых видов микроорганизмов, способных воздействовать на флюид и породу. В статье рассмотрена технология активации пластовой микрофлоры, а именно силикатных бактерий, в качестве метода повышения нефтеотдачи на месторождениях Северного Каспия.

**Ключевые слова:** трудноизвлекаемые запасы, нефть, силикатные бактерии, увеличение нефтеотдачи, пластовая микрофлора, шельфовые месторождения

**Для цитирования:** Саматоева Д. С., Выборнова Т. С. Технологии увеличения нефтеотдачи на месторождениях Северного Каспия // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 4. С. 76–82. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-4-76-82>. EDN PEPYNO.

Original article

## Technologies for oil recovery increasing in the fields of the Northern Caspian Sea

*Daria S. Samatova, Tatiana S. Vybornova*✉

*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, tavyb@bk.ru*✉

**Abstract.** Permanent modernization of production processes for the extraction of hydrocarbon raw materials is an integral part of rational subsoil use. Research and implementation of the latest technologies in the process of oil production ensures production and economic efficiency. In the world practice of oil production, vast experience has been accumulated in experimental research and practical implementation of various methods that can significantly increase oil recovery. In the process of choosing a method or combination of methods for increasing oil recovery, many criteria are taken into account, but the geological conditions of the deposit under development, as well as the composition and physico-chemical characteristics of reservoir fluids are of primary importance. Of all the methods of increasing oil recovery, the biological method has become the least common today due to its little knowledge. The relevance of the research and further implementation of the technology of enhanced oil recovery by the biological method is primarily due to the criterion of environmental safety. A significant advantage of the biological method of increasing oil recovery is that microorganisms are capable of multiplying and enhancing biochemical activity depending on the physico-chemical conditions of the environment. One of the biological methods of increasing oil recovery is the activation of reservoir microflora. This technology consists in cyclic injection of nutrient medium into the formation, which stimulates an increase in the number of certain types of microorganisms in it that can affect the fluid and rock. The article considers the technology of activation of reservoir microflora, namely silicate bacteria, as a method of increasing oil recovery at the sites of the Northern Caspian.

**Keywords:** hard-to-recover reserves, oil, silicate bacteria, enhanced oil recovery, reservoir microflora, shelf fields

**For citation:** Samatova D. S., Vybornova T. S. Technologies for oil recovery increasing in the fields of the Northern Caspian Sea. *Oil and gas technologies and environmental safety.* 2023;4:76-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-4-76-82>. EDN PEPYNO.

### Введение

На сегодняшний день во всем мире большинство крупных нефтяных месторождений находятся на поздней стадии эксплуатации, которая характеризуется стремительным падением объемов добываемой продукции. Для сохранения суммарного объема извлекаемого углеводородного сырья (УВС) нефтедобывающие компании проявляют повышенный интерес к трудноизвлекаемым запасам (ТРИЗ). К категории ТРИЗ относятся месторождения, которые характеризуются сложными геологическими условиями (большой глубиной залегания УВС, низкой проницаемостью породы коллектора, суровыми климатическими условиями и т. д.), а также неблагоприятными физико-химическими свойствами пластового флюида (высоким содержанием парафинов, асфальто-смолистых соединений, наличием минеральных солей и т. д.).

За последнее десятилетие объемы ТРИЗ УВС в России увеличились на 30 %. Более 1/3 от всех запасов нефти в России, а именно 10,2 млрд т, представлено ТРИЗ. Разработка таких месторождений требует больших капиталовложений и внедрения в производственные процессы новейших технологий в области нефтедобычи.

На сегодняшний день Россия занимает лидирующую позицию по объему нефти, находящейся

в низкопроницаемых коллекторах (рис. 1), и доля ТРИЗ в структуре минерально-сырьевой базы продолжает неуклонно расти [1].

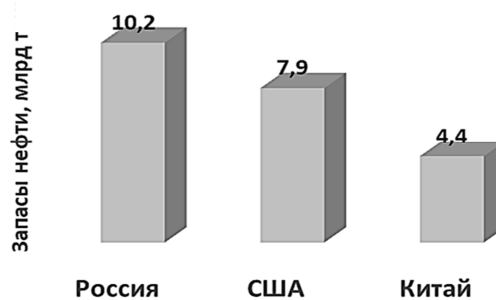


Рис. 1. Объемы запасов нефти в низкопроницаемых коллекторах

Fig. 1. Volumes of hard-to-reach oil reserves

Государственная поддержка, в виде льготного налогообложения, оказывает существенное влияние на повышенную интенсивность разработки ТРИЗ. По данным Роснедр, на начало 2023 г. под различные льготные режимы разработки потенциально попадает больше половины извлекаемых

запасов нефти, и 58 % из них добываются из коллектора, характеризующихся сложными геологическими условиями залегания (рис. 2) [2, 3].

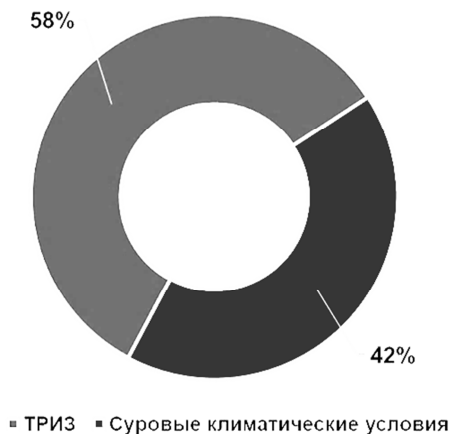


Рис. 2. Льготуемые запасы нефти по данным Роснедр на 01.01.2023

Fig. 2. Preferential oil reserves according to Rosnedra as of 01.01.2023

В соответствии с Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 г., добыча УВС на шельфовых месторождениях нашей страны является приоритетной задачей и должна быть обеспечена эффективными и экологически безопасными технологиями [4]. Разработка и эксплуатация шельфовых месторождений УВС значительно отличается от наземных месторождений и является более трудозатратой и капиталоемкой. Принимая во внимание вышесказанное, изучение и внедрение эффективных, безопасных и рентабельных технологий увеличения нефтеотдачи является актуальной задачей.

Россия обладает значительным количеством запасов УВС, сконцентрированных на морских месторождениях. Ярким примером может послужить большой объем нефти и газа, залегающих в различных зонах Каспийского моря. По предварительным расчетам запасы нефти составляют порядка 50 млрд баррелей нефти и 300 трлн м<sup>3</sup> природного газа [5].

На сегодняшний день на шельфе Северного Каспия промышленная добыча нефти ведется на следующих месторождениях: им. Юрия Корчагина, им. Владимира Филановского и им. Валерия Грайфера. Перспективы добычи нефти на данных месторождениях связаны с залежами аптского яруса и неомского надъяруса. Несмотря на то, что данные месторождения введены в эксплуатацию не так давно, на них уже применяются поддержание пластового давления (ППД) путем закачки воды и газа

в нагнетательные скважины, а также многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП).

С целью увеличения приемистость МГРП проводится как в добывающих, так и в нагнетательных скважинах. К примеру, приемистость водонагнетательных скважины на месторождении им. Владимира Филановского после проведения МГРП увеличилась более чем в 3,5 раза. На данный момент добывающие скважины характеризуются снижением продуктивности и периодической эксплуатацией, а показатели приемистости поддерживаются периодическими солянокислотными обработками. В связи с низкой проницаемостью пластов для закачки воды в нагнетательную скважину метод ППД не дает ощутимого эффекта.

Обобщив опыт проведения работ по МГРП в качестве метода повышения нефтеотдачи на месторождении им. Владимира Филановского, сделан вывод о том, что на данный момент существует необходимость повышения фильтрационных характеристик не только призабойной зоны скважин, но и всего продуктивного пласта.

#### Влияния микроорганизмов на изменение структуры пород

Способность микроорганизмов сохранять жизнеспособность и продолжать свое развитие в широком температурном диапазоне при повышенных давлениях, при различной степени минерализации среды обитания, в аэробных и анаэробных условиях, умение использовать для роста и жизнедеятельности разнообразные источники питания и энергии – все эти факты стали вызывать интерес и исследоваться на возможность применения в нефтедобыче еще в прошлом столетии.

Идея использования бактерий с целью вытеснения нефти из пористых сред была озвучена еще в 1926 г. Бекманом. Опытно-промышленные работы изначально были проведены в США, штате Северная Каролина, на месторождении Лисбон в 1954 г. Чуть позже в 80-х гг. XX в. значительная исследовательская активность в данном направлении отмечалась в СССР, Чехословакии, Венгрии, Польше, Азербайджане, где также имели место закачки анаэробных бактерий на нефтяных месторождениях. Несмотря на то, что нефтяная микробиология как область науки образовалась 80 лет назад, сведения о микрофлоре нефтяного пласта до сих пор остаются фрагментарными. Общеизвестно, что нефтяные месторождения населяют ферментативные, сульфат-, серо- и железовосстанавливающие бактерии, а также ацетат- и метанпродуцирующие бактерии.

Микробиологические методы увеличения нефтеотдачи используют такие компании, как Titan Oil Recovery Inc., Glogi Energy совместно с Statoil, Total, Du Pont совместно с BP, Chevron. Из российских компаний наиболее активно применяет мик-

робиологические методы ОАО «Татнефть». При этом география применения данных методов увеличения нефтеотдачи обширна: США, Канада, Бразилия, Болгария, Азербайджан, Румыния, Германия, Россия и др. Также в Восточной Азии были зарегистрированы опытно-промышленные испытания в Китае, Малайзии, Индии и Индонезии [6].

Микробиологическое воздействие на увеличение нефтеотдачи может базироваться на различных способностях отдельных микроорганизмов: изменении физико-химических свойств пластового флюида, изменении структуры породы коллектора, образовании продуктов жизнедеятельности, оказывающих вытесняющее действие на нефть, и т. д. Возможности увеличения нефтедобычи исследуются как на микроорганизмах, выращенных в ферментной среде в лабораторных условиях, так и на бактериях, полученных непосредственно из материнской породы коллектора. По мнению авторов, второе направление исследований является наиболее перспективным, т. к. в случае установления факта положительного воздействия микрофлоры, находящейся в материнской породе коллектора на процесс увеличения нефтеотдачи, процесс активизации жизнедеятельности микроорганизмов непосредственно в пластовых условиях будет весьма выгоден как во временном, так и в финансовом эквиваленте. Исследования процессов увеличения нефтеотдачи посредством микроорганизмов, выращенных в лабораторных условиях, требуют дополнительного этапа, свя-

занного с изучением взаимодействия выведенных бактерий с аборигенной микрофлорой материнской породы коллектора.

При исследовании микробиологического метода увеличения нефтеотдачи, а именно влияния микроорганизмов на разрушение силикатов, получен обширный экспериментальный материал.

В работе [7] описывается исследование влияния бактерий на изменение силикатного материала. Суть данного эксперимента заключалась в том, что тонкие пластинки силикатных минералов были погружены в заранее подготовленные культурный раствор и нейтральную среду. По истечении определенного времени образцы силикатного материала исследовали под микроскопом. В результате были зафиксированы значительные изменения поверхности пластинок силикатной породы, выдержанных в культурном растворе, в то время как пластинки, помещенные в нейтральную среду, не изменились.

В работе [8], описан эксперимент, целью которого было определение количественных показателей разрушения глин. В ходе эксперимента сухой порошок глинистого минерала поместили в питательную среду и занесли культуру силикатных бактерий. Через 10 дней провели элементный анализ исходных и обработанных бактериями проб минерала и в результате установили, что обработанные пробы содержат на 40–50 % основных элементов (кремний, алюминий, железо) меньше, чем в исходном материале (рис. 3).

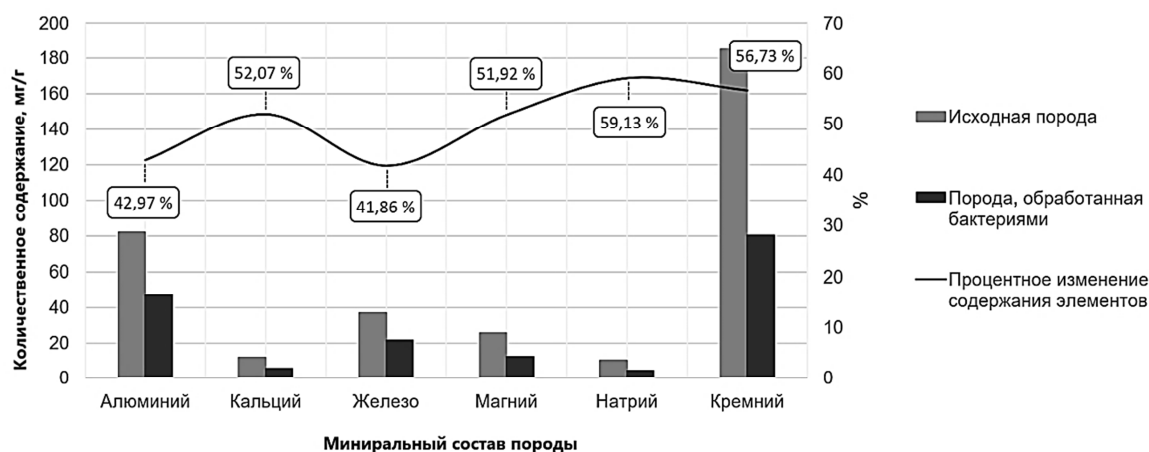


Рис. 3. Изменение минерального состава породы микробиологическим воздействием

Fig. 3. Change in the mineral composition of the rock by microbiological influence

С целью углубленного изучения микробиологического метода воздействия на породу коллектора, авторами было принято решение провести собственное исследование керна аптской залежи месторождения им. В. Филановского в лабораторных условиях, в т. ч. и его микрофлоры.

#### Материал, методы и результаты исследования

Исследование силикатных микроорганизмов проводилось методом накопительных культур на жидкой среде Вагнера-Шварца и Миллса [9]. Для этого в жидкую среду асептическим путем внесли измельченный фрагмент керна. Культивирование

вели при температуре 60 °С до появления признаков роста микроорганизмов, таких как: пленка на поверхности среды, муть, взвесь в толще среды.

Первые признаки микробного роста проявились после 180 суток культивирования. Микрокопиро-

вание бактериальной пленки на поверхности среды позволило обнаружить грамположительные палочковидные формы и нити (рис. 4).

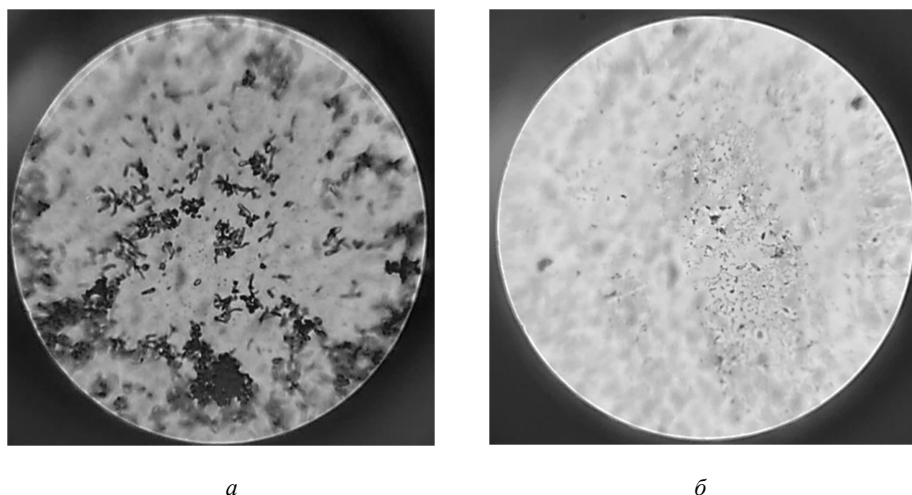


Рис. 4. Силикатные бактерии, выделенные из ядра аптской залежи месторождения им. В. Филановского ( $\times 1\,500$ ):  
*a* – Вагнера-Шварца ядро; *б* – Миллса ядро

Fig. 4. Silicate bacteria isolated from the core of the Aptian deposit of the deposit named after V. Filanovsky ( $\times 1\,500$ ):  
*a* – Wagner-Schwartz core; *b* – Mills core

Микроорганизмы, которые удалось обнаружить, предположительно способны развиваться за счет преобразования некоторых соединений кремния и перевода их в растворимое состояние. В связи с тем, что температура культивирования микроорганизмов (60 °С) практически равна температуре пласта, то велика вероятность их выживания в пластовых условиях. Таким образом, предварительно был сделан вывод о возможности применения метода активации пластовой микрофлоры в качестве метода повышения нефтеотдачи на месторождении Северного Каспия.

Аптскую залежь месторождения им. В. Филановского планируется эксплуатировать с ППД путем заводнения. Внедрение системы ППД предусматривается с первого года эксплуатации месторождения. Планируется ввод 12 водонагнетательных скважин. Наличие системы ППД с обширным фондом нагнетательных скважин благоприятствует возможности активизации пластовой микрофлоры по средствам технологии циклической закачке неорганической питательной среды.

Ход дальнейшего исследования направлен на подбор оптимальной питательной среды, которая будет закачиваться через фонд нагнетательных скважин, стимулируя увеличение в продуктивном горизонте количества микроорганизмов, способных воздействовать на породу. Предполагается, что эффект повышения проницаемости пластов

аптского яруса будет достигаться за счет разрушения выявленными бактериями структуры глинизированной породы.

На данном этапе развития проекта не представляется возможным выполнить расчет показателя чистой прибыли, т. к. затраты на добычу 1 т нефти и проведение мероприятия по увеличению нефтеотдачи напрямую зависят от объемов закачки питательной среды в пласт, а также от необходимости инвестирования в дополнительное оборудование. Произвести расчет сроков окупаемости внедрения предлагаемой технологии будет возможно только после проведения дополнительных исследований.

#### Заключение

В результате проведенного анализа научной литературы и экспериментальных исследований сделан предположительный вывод о возможности развития обнаруженных в ядре аптской залежи микроорганизмов посредством преобразования некоторых соединений кремния и перевода их в растворимое состояние.

Актуальность исследования и дальнейшего внедрения технологии активизации пластовой микрофлоры обусловлена, в первую очередь, высокой эффективностью и экологической безопасностью. Весомым преимуществом микробиологического метода увеличения нефтеотдачи является

то, что микроорганизмы способны к размножению и усилению биохимической активности в зависимости от физико-химических условий среды.

На основании вышеизложенного намечены дальнейшие этапы исследования:

1) исследование выделенных бактерий в условиях, приближенных к пластовым (температура – 69 °С, давление – от 13 до 17 МПа);

2) подбор неорганической селективной питательной среды, способной активизировать процессы жизнедеятельности силикатных бактерий при имеющей нейтральное воздействие на другие разновидности микрофлоры;

3) анализ и расчет скорости взаимодействия данных микроорганизмов с частицами породы аптской залежи в условиях наличия питательной среды.

#### Список источников

1. IEA. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 16.10.2023).

2. Роснедра. Федеральное агентство по недропользованию. URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/15286.html> (дата обращения: 08.10.2023).

3. Богданов Д. С., Дьячкова Е. А. Анализ результативности налогового стимулирования освоения трудноизвлекаемых запасов нефти // Минерал. ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 4 (167). С. 35–40.

4. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020. № 1523-р. URL: <http://government.ru/docs/all/128340/> (дата обращения: 08.10.2023).

5. Чмыхова Е. А. Сущность Каспийского фактора в международных отношениях // Актуальные проблемы международных отношений в условиях формирования мультиполярного мира: сб. науч. ст. 10-й Международ. науч.-практ. конф., Курск, 15 дек. 2021 г. Курск: Юго-Запад. гос. ун-т, 2021. С. 432–434.

6. Сайфуллин М. А. Микробиологический метод – один из эффективных воздействий для повышения нефтеотдачи // Науч. исслед. 2019. № 3 (29). С. 8–9.

7. Яхонтова Л. К. и др. Разрушение силикатов с помощью бактерий // Минерал. журн. 1983. Т. 5, № 2. С. 28–38.

8. Караульный И. С. Оценка возможности повышения фильтрационно-емкостных свойств низкопроницаемых глинистых коллекторов микробиологическим воздействием // Сб. материалов Международ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив-2016», посвящ. Году образования в Содружестве Независимых Государств, Красноярск, 15–25 апреля 2016 г. 2016. С. 15–18. URL: [http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/21470/nftegazovoe\\_delo.pdf?sequence=1](http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/21470/nftegazovoe_delo.pdf?sequence=1) (дата обращения: 08.10.2023).

9. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. и др. Практикум по микробиологии / под ред. А. И. Нетрусова. М.: Академия, 2005. 603 с.

#### References

1. IEA. International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org> (accessed: 16.10.2023).

2. Rosnedra. Federal'noe agentstvo po nedropol'zovaniyu [Rosnedra. Federal Agency for Subsoil Use]. Available at: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/15286.html> (accessed: 08.10.2023).

3. Bogdanov D. S., D'iachkova E. A. Analiz rezultativnosti nalogovogo stimulirovaniia osvoeniia trudnoizvlekaemykh zapasov nefiti [Analysis of the effectiveness of tax incentives for the development of hard-to-recover oil reserves]. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2019, no. 4 (167), pp. 35-40.

4. *Energeticheskaia strategiiia Rossiiskoi Federatsii na period do 2035 goda: utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 09.06.2020. no. 1523-r* [Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035: approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 09.06.2020. No. 1523-r]. Available at: <http://government.ru/docs/all/128340/> (accessed: 08.10.2023).

5. Chmykhova E. A. Sushchnost' Kaspiiskogo faktora v mezhdunarodnykh otnosheniakh [The essence of the Caspian factor in international relations]. *Aktual'nye problemy mezhdunarodnykh otnoshenii v usloviakh formirovaniia mul'tipoliarnogo mira: sbornik nauchnykh statei 10-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kursk*,

*15 dekabria 2021 g. Kursk, Iugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet*, 2021. P. 432-434.

6. Saifullin M. A. Mikrobiologicheskii metod – odin iz effektivnykh vozdeistvii dlia povysheniia nefteotdachi [The microbiological method is one of the most effective ways to increase oil recovery]. *Nauchnye issledovaniia*, 2019, no. 3 (29), pp. 8-9.

7. Iakhontova L. K. i dr. Razrushenie silikatov s pomoshch'iu bakterii [Destruction of silicates by bacteria]. *Mineralogicheskii zhurnal*, 1983, vol. 5, no. 2, pp. 28-38.

8. Karaul'nyi I. S. Otsenka vozmozhnosti povysheniia fil'tratsionno-emkostnykh svoistv nizkopronitsaemykh glinistykh kollektorov mikrobiologicheskim vozdeistviem [Assessment of the possibility of increasing the filtration-capacitance properties of low-permeable clay reservoirs by microbiological action]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh «Prospekt Svobodnyi-2016», posviashchennoi Godu obrazovaniia v Sodruzhestve Nezavisimykh Gosudarstv, Krasnoiar'sk, 15–25 apreliia 2016 g.* 2016. P. 15-18. Available at: [http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/21470/nftegazovoe\\_delo.pdf?sequence=1](http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/21470/nftegazovoe_delo.pdf?sequence=1) (accessed: 08.10.2023).

9. Netrusov A. I., Egorova M. A., Zakharchuk L. M. i dr. *Praktikum po mikrobiologii* [Microbiology Workshop]. Pod redaktsiei A. I. Netrusova. Moscow, Akademiia Publ., 2005. 603 p.

Статья поступила в редакцию 12.10.2023; одобрена после рецензирования 27.10.2023; принята к публикации 17.11.2023  
The article was submitted 12.10.2023; approved after reviewing 27.10.2023; accepted for publication 17.11.2023

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Дарья Сергеевна Саматоева** – магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; dss\_26\_06@mail.ru

**Daria S. Samatоеva** – Master's Course Student of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; dss\_26\_06@mail.ru

**Татьяна Сергеевна Выборнова** – старший преподаватель кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; tavyb@bk.ru

**Tatiana S. Vybornova** – Senior Lecturer of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields; Astrakhan State Technical University; tavyb@bk.ru

