

Научная статья
УДК 579.66+622.276.344
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-3-66-72>
EDN ZGELSR

Активизация пластовой микрофлоры для повышения нефтеотдачи

Татьяна Сергеевна Выборнова[✉], Алина Равильевна Гальперина,
Алина Шамильевна Бареева, Дарья Сергеевна Саматоева

Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, tavyb@bk.ru[✉]

Аннотация. Постоянная оптимизация технологических процессов добычи нефти – это одна из неотъемлемых частей рационального недропользования. Изучение и внедрение новых разработок и технологий в процесс нефтедобычи обусловлен в первую очередь экономическим эффектом. Особый интерес к практической реализации инновационных технологий в нефтегазовой отрасли вызывают методы увеличения нефтеотдачи. На сегодняшний день разработано и апробировано в промышленных условиях огромное количество технологий, направленных на сохранение и повышение объемов добываемой продукции, классификация которых весьма разнообразна. Первоочередными критериями при выборе метода или комбинации методов воздействия на продуктивный пласт с целью увеличения нефтеотдачи являются геологические условия залегания продуктивного горизонта, а также состав и физико-химические свойства пластовых флюидов. В настоящее время из всего множества методов увеличения нефтеотдачи наименее изученным является микробиологический метод, вследствие чего крайне редко используемый на предприятиях. Актуальность исследований, посвященных воздействию микроорганизмов на породу-коллектора, не вызывает сомнения. Возможность широкого применения технологии повышения нефтеотдачи, основанных на процессах жизнедеятельности бактерий, интересна как с точки зрения экологической безопасности, так и с экономической эффективности. Одним из микробиологических методов повышения нефтеотдачи является активизация наличествующей пластовой микрофлоры за счет подачи в пласт питательной среды. В процессе своей жизнедеятельности некоторые виды бактерий способны разрушать глинизированные породы, что влечет за собой изменения фильтрационно-емкостных свойств породы-коллектора и, как следствие, объемы добываемой продукции значительно повышаются. Преимуществом данного метода является отсутствие необходимости принудительного «заражения» пласта-коллектора, т. к. необходимые бактерии уже находятся в нем.

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

Для цитирования: Выборнова Т. С., Гальперина А. Р., Бареева А. Ш., Саматоева Д. С. Активизация пластовой микрофлоры для повышения нефтеотдачи // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2024. № 3. С. 66–72. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-3-66-72>. EDN ZGELSR.

Original article

Activation of reservoir microflora to increase oil recovery

Tatiana S. Vybornova[✉], Alina R. Galperina, Alina Sh. Bareeva, Daria S. Samatоеva

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

Abstract. Constant optimization of technological processes of oil production is one of the integral parts of rational subsurface use. The study and implementation of new developments and technologies in the oil production process is primarily due to the economic effect. Methods of increasing oil recovery are of particular interest in the practical implementation of innovative technologies in the oil and gas industry. To date, a huge number of technologies have been developed and tested in field conditions aimed at preserving and increasing the volume of produced products, the classification of which is very diverse. The primary criteria for choosing a method or combination of methods of influencing a productive reservoir in order to increase oil recovery are the geological conditions of the productive horizon, as well as the composition and physico-chemical properties of reservoir fluids. Currently, of all the many methods of increasing oil recovery, the microbiological method is the least studied, as a result of which it is extremely rarely used in enterprises. The relevance of research on the effects of microorganisms on the reservoir rock is beyond doubt. The possibility of widespread application of oil recovery enhancement technology based on bacterial life processes is in-

teresting both from the point of view of environmental safety and economic efficiency. One of the microbiological methods of increasing oil recovery is the activation of the existing reservoir microflora by feeding a nutrient medium into the reservoir. In the course of their vital activity, some types of bacteria are capable of destroying clay rocks, which entails changes in the filtration and capacitance properties of the reservoir rock and, as a result, the volume of products produced increases significantly. The advantage of this method is the absence of the need for forced “contamination” of the reservoir formation, since the necessary bacteria are already in it.

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

For citation: Vybornova T. S., Galperina A. R., Bareeva A. Sh., Samatsoeva D. S. Activation of reservoir microflora to increase oil recovery. *Oil and gas technologies and environmental safety.* 2024;3:66-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-3-66-72>. EDN ZGELSR.

Введение

Все нефтедобывающие компании сталкиваются с проблемой истощения ресурсов. Большинство крупных месторождений в России уже находятся на

поздней стадии эксплуатации [1], которая характеризуется стремительным падением дебита скважин (рис. 1).

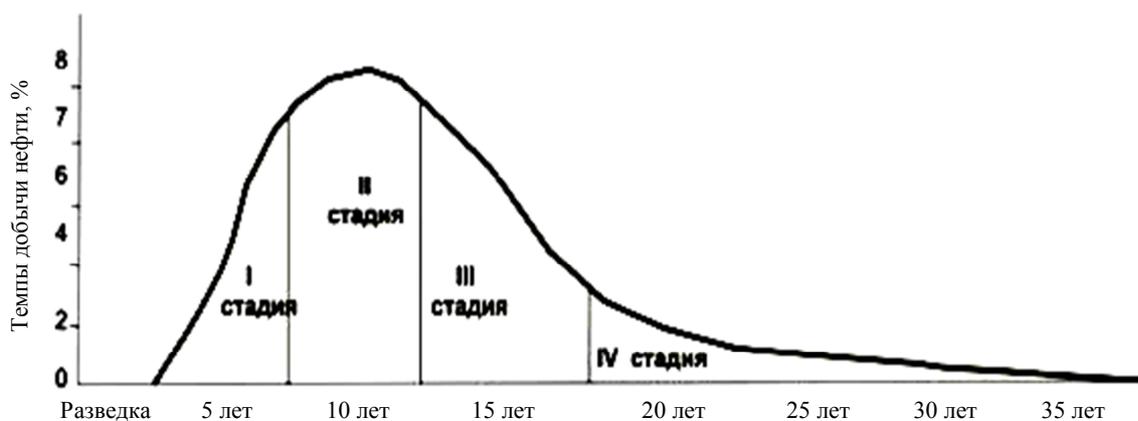


Рис. 1. Стадийность разработки эксплуатационного объекта

Fig. 1. Stages of field development

В данных условиях с целью сохранения объемов добываемой продукции важной задачей нефтедобывающих предприятий является активное внедрение инновационных технологий в производственные процессы нефтедобычи. Методы увеличения нефтеотдачи имеют весьма широкую классификацию, а именно: по стадиям разработки месторождения, на которых применяется метод; исходя из целей применения; функционального назначения; вида воздействующего агента и т. д. [2–5]. Наиболее обобщенная и часто применяемая классификация методов увеличения нефтеотдачи приведена на рис. 2.

В настоящее время из всего множества методов увеличения нефтеотдачи наименьший опыт практической реализации имеет микробиологический метод, что связано с его малой изученностью. Исследования, посвященные воздействию микроорганизмов на породу-коллектора, весьма актуальны. Возможность широкого применения технологии повышения нефтеотдачи, основанных на процессах жизнедеятельности бактерий, интересна как

с точки зрения экологической безопасности, так и с экономической эффективности. Значительным преимуществом микробиологического метода увеличения нефтеотдачи является то, что микроорганизмы способны к размножению и усилению биохимической активности в зависимости от физико-химических условий среды [6]. Одним из микробиологических методов повышения нефтеотдачи является активизация наличествующей пластовой микрофлоры за счет подачи в пласт питательной среды. Питательная среда может подаваться в пласт через нагнетательные скважины, технология не требует дополнительного оборудования. В процессе своей жизнедеятельности некоторые виды бактерий способны разрушать глинизированные породы, что влечет за собой изменения фильтрационно-емкостных свойств породы-коллектора. Объемы добываемой продукции значительно повышаются вследствие увеличения площади фильтрации пластового флюида [7].

Выборнова Т. С., Гальперина А. Р., Бареева А. Ш., Самагова Д. С. Активизация пластовой микрофлоры для повышения нефтеотдачи

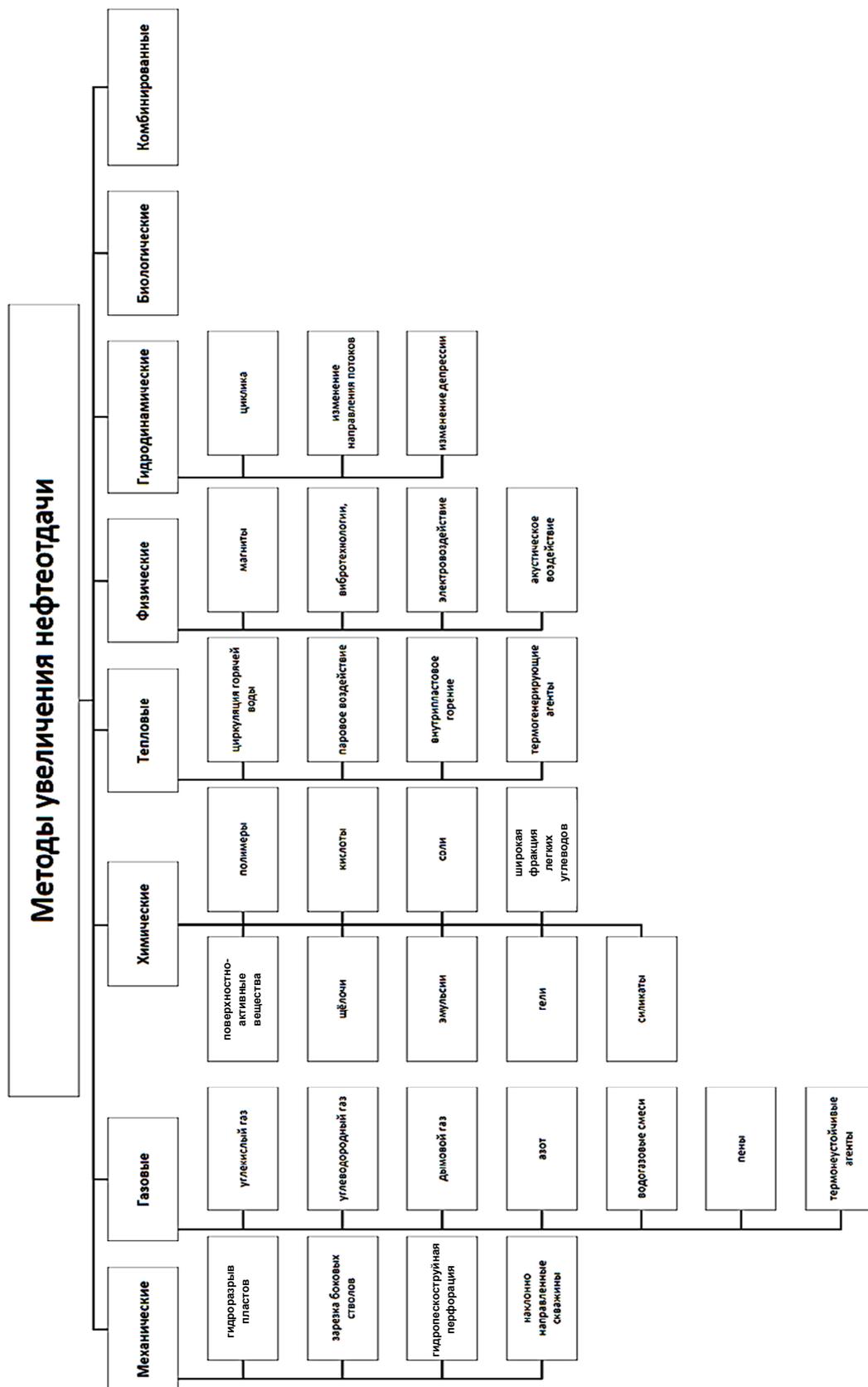


Рис. 2. Классификация методов увеличения нефтеотдачи

Fig. 2. Classification of methods for increasing oil recovery

Усовершенствование технического оснащения геологических исследований и глубоководного бурения влечет за собой стремительный рост нефтяных месторождений, расположенных на морском шельфе. В соответствии с Энергетической стратегией развития Российской Федерации на период до 2035 г., добыча углеводородного сырья на морских месторождениях является приоритетной задачей и должна быть обеспечена экологически безопасными, энергоэффективными, ресурсосберегающими и безотходными технологиями [7]. Разработка и эксплуатация углеводородных шельфовых месторождений более трудоемкая и капиталозатратная в сравнении с добычей углеводородов из месторождений, расположенных на суше. Принимая во внимание вышесказанное, изучение и внедрение экологически безопасных и рентабельных технологий увеличения нефтеотдачи является актуальной задачей.

В России большое количество запасов углеводородного сырья сконцентрировано на морских месторождениях. В качестве примера можно приведем Каспийское море, в котором нефть и газ залегают в различных зонах. По предварительным расчетам запасы нефти составляют порядка 50 млрд баррелей нефти и 300 трлн м³ природного газа [8].

В настоящее время на шельфе Северного Каспия промышленная эксплуатация 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 неокомского надъяруса [9]. Пласты аптского яруса характеризуются как средне- и слабопроницаемые, в связи с наличием малопроницаемого цемента породы, глинизацией. Этим обусловлена основная проблема разработки аптских залежей – сложность фильтрации жидкости по пласту. Данная проблема привела к возникновению необходимости изменения фильтрационно-емкостных характеристик всего пласта-коллектора.

Изменение структуры пород под действием аборигенной микрофлоры

В научных источниках можно найти результаты исследований, посвященных роли микроорганизмов в разрушении минералов, но сведений о практическом внедрении микробиологического метода увеличения нефтеотдачи на шельфовых месторождениях крайне мало. Анализ существующих результатов исследований позволил сделать предварительный вывод о том, что при разработке месторождений фильтрация жидкости по пласту, обработанному бактериями, приведет к возможному вымыванию из него перешедших в измененное состояние некоторых элементов глины, что влечет за собой увеличение количества фильтрационных каналов в породе-коллекторе [10–13].

Микробиологический метод увеличения нефтеотдачи может иметь различную направленность воздействия, а именно: изменение физико-химически свойств пластового флюида и структуры породы коллектора, образование 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 данной статьи, 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. Кроме того, исследования процессов увеличения нефтеотдачи посредством микроорганизмов, выращенных в лабораторных условиях, требуют дополнительного этапа, связанного с изучением взаимодействия выведенных бактерий с аборигенной микрофлорой материнской породы коллектора.

В ранее изданных статьях описывались результаты эксперимента по выявлению аборигенной микрофлоры из керна аптской залежи месторождения им. В. Филановского. В ходе исследования удалось обнаружить наличие грамположительных палочковидных форм и нитевидные образования. Было принято решение о дальнейшем изучении полученных штаммов микроорганизмов.

Материал, методы и результаты исследования

Исследование микроорганизмов проводилось методом накопительных культур [14] на питательной среде Вагнера и Шварца, которая состоит из 1,0 % глюкозы, 0,5 % (NH₄)₂HPO₄, 20,0 мл алюмосиликатов и 1 000,0 мл водопроводной воды [15]. 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. Микрокопирование бактериальной пленки на поверхности среды позволило обнаружить грамположительные палочковидные формы и нити.

Далее, согласно плану исследования [16], полученный материал был помещен в условия, схожие с пластовыми (температура – 69 °С, давление – 13 МПа) на 90 дней.

Результаты эксперимента подтвердили предположения о том, что при наличии питательной среды микроорганизмы, находящиеся в керне аптской залежи, способны изменять минеральный состав материнской породы, растворяя соединения кремния. На рис. 3 видны темные части – это органико-минеральные частицы, свидетельствующие о разрушении породы под действием микроорганизмов.

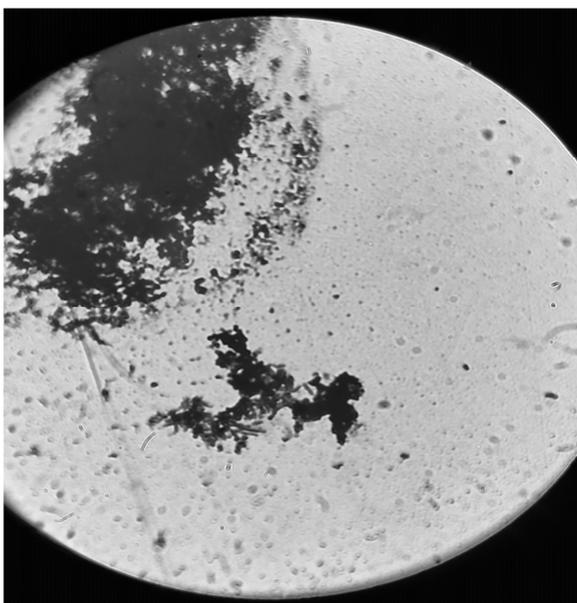


Рис. 3. Керн месторождения им. В. Филановского после микробиологического воздействия ($\times 1\ 500$)

Fig. 3. Core of the V. Filanovsky deposit after microbiological exposure ($\times 1\ 500$)

Заключение

В результате экспериментальных исследований подтвердилось предположение о том, что при наличии питательной среды микроорганизмы, находящиеся в керне аптской залежи, способны изменять минеральный состав материнской породы, растворяя соединения кремния.

Возможность повышать площадь каналов фильтрации в продуктивном пласте при помощи аборигенной микрофлоры является перспективным методом увеличения нефтеотдачи. Экономическая эффективность данной технологии в первую очередь обусловлена отсутствием необходимости затрат на дополнительное обустройство скважин для реализации методов увеличения нефтеотдачи (МУН).

На основании вышеизложенного намечены дальнейшие этапы исследования:

1) изучение аборигенной микрофлоры в условиях приближенным к пластовым (температура – $69\ ^\circ\text{C}$, давление – от 13 до 17 МПа);

2) выявление благоприятной питательной среды для аборигенной микрофлоры в условиях, приближенных к пластовым;

3) исследование способности аборигенной микрофлоры разрушать силикатные минералы породы в условиях, приближенных к пластовым;

4) сравнение проницаемости породы с исходным образцом;

5) вывод о способности аборигенной микрофлоры разрушать силикатные минералы породы в условиях, приближенных к пластовым;

6) при положительном результате разработка рациональной технологической схемы микробиологического воздействия на пласт.

Список источников

1. IEA50. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 02.09.2024).
2. Рахманов Ф. Ф. Классификация методов увеличения нефтеотдачи // Вестн. науки. 2020. Т. 2, № 11. С. 154–156.
3. Подымов Е. Д., Слесарева В. В., Рафикова К. Р. Обзор представлений о классификации методов увеличения нефтеизвлечения // Сб. науч. тр. ТатНИПИнефть. 2010. С. 150–160.
4. Шершелюк А. Е., Быкова Г. А. Методы увеличения нефтеотдачи. Сравнение российского и зарубежного опыта // Акад. журн. Запад. Сибири. 2015. Т. 11, № 5. С. 39–42.
5. Сорокин С. А. Классификация методов повышения нефтеотдачи // Акад. журн. Запад. Сибири. 2018. Т. 14, № 6 (77). С. 130.
6. Шарауова А. Б., Нуршаханова Л. К., Тулешева Г. Применение микробиологических методов для повышения нефтеотдачи и интенсификации нефтедобычи // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 307–309.
7. 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: 02.09.2024).

8. 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: Юго-Запад. гос. ун-т, 2021. С. 432–434.

9. Карпушова Ю. Е., Хаирмашев Т. С., Абуталиева И. Р. Внедрение перспективных технологических решений при проведении МГРП на месторождениях Северного Каспия // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы XI Международ. науч.-практ. конф. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2020. С. 66–68.

10. Безверхая Е. В., Трофимов И. А., Карепов В. А. Перспективы использования микробиологического метода увеличения нефтеотдачи // Рос. нефтегаз. техн.

конф. SPE. URL: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/128886/statya_spe.pdf?sequence=1 (дата обращения: 02.09.2024).

11. Донияров Н. А., Асроров А. А., Муродов И. Н., Хуррамов Н. И., Ахтамова М. З., Курбонова Ш. Р. Анализ возможных механизмов взаимодействия микроорганизмов с минералами горных пород // *Journal of Advances in Engineering Technology*. 2020. Vol. 2 (2). Pp. 59–66.

12. Баранов Д. В., Петрова А. Н., Ибрагимов Р. К., Ибрагимова Д. А., Валиуллин А. Е., Зиннурова О. В., Молодцов С. Д. Микробиологические методы увеличения добычи нефти: обзор // *Вестн. Казан. технолог. ун-та*. 2016. Т. 19. № 24. С. 35–39.

13. Сопрунова О. Б., Нгуен Виет Тиен. Перспективы использования слизиобразующих бактерий в нефтяной отрасли // *Юг России: экология, развитие*. 2010. № 4. С. 91–93.

14. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. и др. *Практикум по микробиологии*. М.: Академия, 2005. 608 с.

15. Держинская И. С. *Питательные среды для выделения и культивирования микроорганизмов*. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. 348 с.

16. Саматоева Д. С., Выборнова Т. С. Технологии увеличения нефтеотдачи на месторождениях Северного Каспия // *Нефтегаз. технологии и эколог. безопасность*. 2023. № 4. С. 76–82.

References

1. *IEA50. International Energy Agency*. Available at: <https://www.iea.org> (accessed: 02.09.2024).

2. Rahmanov F. F. Klassifikacija metodov uvelichenija nefteotdachi [Classification of methods for increasing oil recovery]. *Vestnik nauki*, 2020, vol. 2, no. 11, pp. 154-156.

3. Podymov E. D., Slesareva V. V., Rafikova K. R. Obzor predstavlenij o klassifikacii metodov uvelechenija nefteizvlechenija [An overview of the concepts of classification of methods for increasing oil recovery]. *Sbornik nauchnyh trudov TatNIPIneft'*, 2010, pp. 150-160.

4. Shersheljuk A. E., Bykova G. A. Metody uvelichenija nefteotdachi. Sravnenie rossijskogo i zarubezhnogo opyta [Methods of increasing oil recovery. Comparison of Russian and foreign experience]. *Akademicheskij zhurnal Zapadnoj Sibiri*, 2015, vol. 11, no. 5, pp. 39-42.

5. Sorokin S. A. Klassifikacija metodov povyshenija nefteotdachi [Classification of methods of enhanced oil recovery]. *Akademicheskij zhurnal Zapadnoj Sibiri*, 2018, vol. 14, no. 6 (77), p. 130.

6. Sharauova A. B., Nurshahanova L. K., Tulesheva G. Primenenie mikrobiologicheskikh metodov dlja povyshenija nefteotdachi i intensivacii nefteodobychi [Application of microbiological methods to enhance oil recovery and intensification of oil production]. *Molodoy uchenyj*, 2014, no. 8, pp. 307-309.

7. *Jenergeticheskaja strategija Rossijskoj Federacii na period do 2035 goda: utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii 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 06/09/2020 No. 1523-r]. Available at: <http://government.ru/docs/all/128340/> (accessed: 02.09.2024).

8. Chmyhova E. A. Sushhnost' Kaspijskogo faktora v mezhdunarodnyh otnoshenijah [The essence of the Caspian factor in international relations]. *Aktual'nye problemy mezhdunarodnyh otnoshenij v uslovijah formirovanija mul'tipoljarnogo mira: sbornik nauchnyh statej 10-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Kursk, Jugo-Zapad. gos. un-t, 2021. Pp. 432-434.

9. Karpushova Ju. E., Hairmashev T. S., Abutaliev I. R. Vnedrenie perspektivnyh tehnologicheskikh reshenij pri provedenii MGRP na mestorozhdenijah Severnogo Kaspija [Implementation of advanced technological solutions for

hydraulic fracturing in the fields of the Northern Caspian Sea]. *Novejšie tehnologii osvoenija mestorozhdenij uglevodородного syr'ja i obespechenie bezopasnosti jekosistem Kaspijskogo shel'fa: materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Astrahan', Izd-vo АГТУ, 2020. Pp. 66-68.

10. Bezverhaja E. V., Trofimov I. A., Karepov V. A. Perspektivy ispol'zovanija mikrobiologicheskogo metoda uvelichenija nefteotdachi [Prospects of using the microbiological method of increasing oil recovery]. *Rossijskaja neftegazovaja tehničeskaja konferencija SPE*. Available at: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/128886/statya_spe.pdf?sequence=1 (accessed: 02.09.2024).

11. Donijarov N. A., Asrоров A. A., Муродов I. N., Хуррамов N. I., Ахтамова M. Z., Курбонова Sh. R. Analiz vozmozhnyh mehanizmov vzaimodejstvija mikroorganizmov s mineralami gornyh porod [Analysis of possible mechanisms of interaction of microorganisms with rock minerals]. *Journal of Advances in Engineering Technology*, 2020, vol. 2 (2), pp. 59-66.

12. Baranov D. V., Petrova A. N., Ibragimov R. K., Ibragimova D. A., Valiullin A. E., Zinnurova O. V., Molodcov S. D. Mikrobiologicheskie metody uvelichenija dobychi nefiti: obzor [Microbiological methods of increasing oil production: an overview]. *Vestnik Kazanskogo tehnologičeskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 24, pp. 35-39.

13. Soprunova O. B., Nguen Viet Tien. Perspektivy ispol'zovanija slizeobrazujušhijh bakterij v nefťjanoj otrasli [Prospects for the use of mucus-forming bacteria in the oil industry]. *Jug Rossii: jekologija, razvitie*, 2010, no. 4, pp. 91-93.

14. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. и др. *Практикум по микробиологии* [Microbiology Workshop]. Moscow, Akademija Publ., 2005. 608 p.

15. Держинская И. С. *Питательные среды для выделения и культивирования микроорганизмов* [Nutrient media for isolation and cultivation of microorganisms]. Астрахань, Изд-во АГТУ, 2008. 348 p.

16. Саматоева Д. С., Выборнова Т. С. Технологии увеличения нефтеотдачи на месторождениях Северного Каспия [Technologies for increasing oil recovery in the fields of the Northern Caspian Sea]. *Neftegazovye tehnologii i jekologičeskaja bezopasnost'*, 2023, no. 4, pp. 76-82.

Информация об авторах / Information about the authors

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

Алина Равильевна Гальперина – кандидат биологических наук; доцент кафедры прикладной биологии и микробиологии; Астраханский государственный технический университет; alina_r_s@mail.ru

Алина Шамильевна Бареева – аспирант кафедры прикладной биологии и микробиологии; Астраханский государственный технический университет; vsemdobra2014@mail.ru

Дарья Сергеевна Саматоева – магистрант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений; Астраханский государственный технический университет; dss_26_06@mail.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

Alina R. Galperina – Candidate of Biological Sciences; Assistant Professor of the Department of Applied Biology and Microbiology; Astrakhan State Technical University; alina_r_s@mail.ru

Alina Sh. Bareeva – Postgraduate Student of the Department of Applied Biology and Microbiology; Astrakhan State Technical University; vsemdobra2014@mail.ru

Daria S. Samatoeva – 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

