

ГЕОЭКОЛОГИЯ  
(ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья  
УДК 551.448  
doi 10.54398/2077-6322\_2022\_1\_109

**Геозекологические особенности методов увеличения нефтеотдачи  
и эффективность применения на нефтяных месторождениях  
Волго-Уральской провинции**

Любовь Владимировна Глебова<sup>1✉</sup>, Хамидреза Голизаде<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>1</sup>lvglebova@mail.ru<sup>✉</sup>

<sup>2</sup>H.Gholizadeh@mail.ru

**Аннотация.** Стратегически важной задачей является добыча трудноизвлекаемой нефти из месторождений, находящихся на заключительной стадии разработки. В настоящее время в Волго-Уральской провинции успешно применяются экологически безопасные методы с применением микроорганизмов (Microbial Enhanced Oil Recovery – MEOR), позволяющие увеличить добычу продукции. Микробные технологии производятся в продуктивном пласте, в анаэробных условиях, при высоких температурах, давлениях, минерализации. Микробиологическое воздействие заключается во внутривластовом биосинтезе углекислоты и промежуточных продуктов, способных к нефтевытеснению. Продукты биосинтеза микроорганизмов приводят к снижению вязкости нефти, уменьшению межфазного натяжения, восстановлению проницаемости коллектора вследствие растворения парафина и закупоривающих масс. Извлекаемая нефть становится более подвижной, она выносится к забоям эксплуатационных скважин, что приводит к увеличению добычи. В данной работе произведены расчеты эффективности применения метода MEOR на Ромашкинском месторождении. Для достижения результатов исследования, в качестве исходных данных, были использованы горно-геологические условия месторождения и свойства флюидов. Процесс исследования заключался в применении уравнения и графика, построенного Фирузабади, экстраполяции исходных данных с учетом предыдущих практик применения метода MEOR на аналогичных месторождениях. Результаты исследования подтверждают, что применение микробиологического воздействия в терригенных коллекторах Ромашкинского месторождения имеет положительный эффект, приводящий к увеличению нефтеотдачи. В результате внедрения метода MEOR все преобразования и изменения в продуктивном пласте представляют собой абсолютно безвредный для окружающей среды третичный метод увеличения нефтеотдачи.

**Ключевые слова:** метод MEOR, экологически безопасный, исследование, бактерии, фильтрационно-емкостные свойства, микробиологическое воздействие, нефтяное месторождение, залежь, остаточная нефть, терригенные отложения, непроницаемые породы, свойства коллектора, положительный эффект, увеличение нефтеотдачи

**Для цитирования:** Глебова Л. В., Голизаде Хамидреза. Геозекологические особенности методов увеличения нефтеотдачи и эффективность применения на нефтяных месторождениях Волго-Уральской провинции // Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 1(84). С. 109–116. [https://doi.org/10.54398/2077-6322\\_2022\\_1\\_109](https://doi.org/10.54398/2077-6322_2022_1_109).

GEOECOLOGY  
(GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES)

Original article

**Geocological features of enhanced oil recovery methods and the effectiveness  
of application in the oil fields of the Volga-Ural province**

Lyubov V. Glebova<sup>1✉</sup>, Hamidreza Golizade<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>1</sup>lvglebova@mail.ru<sup>✉</sup>

<sup>2</sup>H.Gholizadeh@mail.ru

**Annotation.** A strategically important task is the extraction of hard-to-recover oil from fields in the final stages of development. Currently, the Volga-Ural province successfully uses environmentally friendly methods using microorganisms (Microbial Enhanced Oil Recovery – MEOR), which allow to increase production. Microbial technologies are produced in a productive layer, under anaerobic conditions, at high temperatures, pressures, mineralization. Microbiological impact consists in intraplastic biosynthesis of carbon dioxide and intermediate products capable of oil displacement. The products of biosynthesis of microorganisms lead to a decrease in the viscosity of oil, a decrease in interphase tension, a restoration of the permeability of the reservoir due to the dissolution of paraffin and clogging masses. The extracted oil becomes more mobile, it is carried to the bottom of production wells, which leads to an increase in production. In this paper, calculations of the effectiveness of the MEOR method at the Romashkinskoye field are made. To achieve the results of the study, the mining and geological conditions of the deposit and the properties of the fluids were used as initial data. The research process consisted in applying the equation and graph constructed by Firuzabadi, extrapolating the initial data taking into account previous practices of applying the MEOR method in similar fields. The results of the study confirm that the use of microbiological effects in the terrigenous reservoirs of the Romashkinskoye field has a positive effect, leading to an increase in oil recovery. As a result of the introduction of the MEOR method, all transformations and changes in the productive reservoir constitute an absolutely environmentally friendly tertiary method of enhanced oil recovery.

**Keywords:** MEOR method, environmentally friendly, research, bacteria, filtration-capacitive properties, microbiological impact, oil field, deposit, residual oil, terrigenous deposits, impermeable rocks, reservoir properties, positive effect, increased oil recovery

**For citation:** Glebova L. V., Golizade Hamidreza. Geocological features of methods of enhanced oil recovery and efficiency of application in the oil fields of the Volga-Ural province. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* = Geology, Geography and Global Energy. 2022; 1(84):109–116. (In Russ.). [https://doi.org/10.54398/2077-6322\\_2022\\_1\\_109](https://doi.org/10.54398/2077-6322_2022_1_109).

Первые разведочные экспедиции поисков нефти в Волго-Уральской провинции начались в 20 годы прошлого столетия. Первое нефтяное месторождение Шугуровское было открыто в 1941 г., затем, в 1948 г. открыто нефтяное месторождение Ромашкинское. Месторождение относится к супергигантам и входит в первую десятку крупнейших нефтяных месторождений мира, на котором уже более 70 лет применяется новейшее оборудование и технологии в области строительства скважин и нефтедобычи. Глубина залегания продуктивных песчаников девона и карбона составляет 1700 м, извлекаемые запасы составляют 3 млрд тонн, на сегодняшний день извлечено более 2,3 млрд тонн. Месторождение находится на заключительной стадии разработки. По месторождению достигнут высокий коэффициент нефтеотдачи – 0,47, обводненность составляет 87 %. Среди методов увеличения нефтеотдачи можно выделить экологически безопасный микробиологический метод, обладающий многофункциональными свойствами на коллектор и пластовый флюид. Метод позволяет эффективно извлекать остаточную нефть на поздних стадиях разработки месторождений. В данной работе проведен анализ опыта применения микробиологических технологий, сделан прогноз эффективности применения метода (Microbial Enhanced Oil Recovery – MEOR на Ромашкинском месторождении с учетом свойств нефти и характеристики продуктивного пласта.

Геологический разрез Ромашкинского месторождения представлен отложениями девонской (D), каменноугольной (C) и пермской (P) системами. Основными продуктивными объектами являются залежи нефти терригенного девона, на которых приходится до 90 % подтвержденных запасов. На остальные горизонты приходится до 10 % запасов.

Девонская (D) система в пределах Ромашкинского месторождения представлена двумя отделами – средним (D<sub>2</sub>) и верхним (D<sub>3</sub>), объединяющими отложения от эйфельского до фаменского яруса.

Пашийский горизонт ниже-франского подъяруса является основным продуктивным объектом Ромашкинского месторождения. Нижняя его граница – кровля аргиллитовой пачки, а верхняя граница пашийского горизонта проводится по подошве карбонатной пачки «верхний известняк» нижнекыновского горизонта. Толщина горизонта неравномерна и изменяется от 24 м в северо-восточной части до 52 м в юго-западной части. Пашийский горизонт представлен пятью нефтенасыщенными алевритово-песчаными пачками, разделенными алевритово-глинистыми прослоями, по результатам исследований ученых (М. С. Пермяков, В. Ю. Абрамов, В. М. Хусаинов).

Структурный план терригенных коллекторов девона на западном, северном, северо-восточном и южном склонах поднятия унаследовал формы кристаллического фундамента. По подошве семилукского горизонта среднего девона (D<sub>2s</sub>) поднятие ориентируется в направлении север-восток, со смещением его купольной части в юго-западном направлении. Ромашкинский купол занимает высокое гипсометрическое положение с отметками от минус 1419 м до минус 1454 м и его толщина составляет до 35 м. На поверхности купола сохраняется региональный наклон в юго-западном направлении, в сравнительно сглаженной форме и осложнен малоамплитудными поднятиями (В. Б. Бирюков, 2003; Р. Х. Муслимов, 2007).

Геологический разрез нижнего девона ( $D_1$ ) представлен следующими проницаемыми пластами (снизу-вверх): «д», «г<sub>2</sub>», «г<sub>1</sub>», «б<sub>3</sub>», «б<sub>2</sub>», «б<sub>1</sub>», «в», «а». Иногда в пластах происходит замещение проницаемых пород непроницаемыми, поэтому пласты не всегда считаются коллекторами, только в отдельных скважинах можно выделить все проницаемые пласты (Камалеева А. И., 2014).

Пласт «д» сложен песчаником и алевролитом. Толщина пласта по среднему значению составляет 4,7 м, средняя пористость по песчаникам примерно равна 21 % и по алевролитам – 15 %; средняя проницаемость по песчаникам – 0,436 мкм<sup>2</sup>, средняя нефтенасыщенность по песчаникам – 0,870 и по алевролитам – 0,704.

Пласт «г<sub>2</sub>» представлен песчаником и алевролитом. Средняя пористость по песчаникам составляет до 21,3 %, по алевролитам до 14,9 %; средняя проницаемость по алевролитам – 0,721 мкм<sup>2</sup>, по песчаникам – 0,327 мкм<sup>2</sup>; средняя нефтенасыщенность по песчаникам – 0,865, по алевролитам – 0,721.

Пласт «г<sub>1</sub>» представлен песчаником и алевролитом. Средняя толщина составляет 3,7 м, средняя пористость по песчаникам – 20,4 % и по алевролитам – 15,5 %; средняя проницаемость по песчаникам – 0,362 мкм<sup>2</sup>, по алевролитам – 0,145 мкм<sup>2</sup>; средняя нефтенасыщенность по песчаникам – 0,853 и по алевролитам – 0,719.

Пласт «в» сложен песчаниками и алевролитами. Средняя толщина до 3,3 м, средняя пористость по песчаникам – 21 %, по алевролитам – 14,7 %; средняя проницаемость по песчаникам – 0,467 мкм<sup>2</sup>, по алевролитам – 0,131 мкм<sup>2</sup>; средняя нефтенасыщенность по песчаникам – 0,875, по алевролитам – 0,698.

Пласт «б<sub>3</sub>» сложен песчаниками и алевролитами. Средняя толщина пласта около 2,89 м, средняя пористость по песчаникам – 21,6 %, по алевролитам – 15,3 %; средняя проницаемость по песчаникам 0,505 мкм<sup>2</sup>, по алевролитам – 0,147 мкм<sup>2</sup>. Средняя нефтенасыщенность по песчаникам – 0,877, по алевролитам – 0,683.

Пласт «б<sub>2</sub>» представлен песчаниками и алевролитами. Средняя толщина – 2,4 м, средняя пористость по песчаникам – 20,6 %, по алевролитам 15,7 %, проницаемость по песчаникам – 0,428 мкм<sup>2</sup>, по алевролитам – 0,250 мкм<sup>2</sup>; нефтенасыщенность по песчаникам – 0,874, по алевролитам – 0,699.

Пласт «б<sub>1</sub>» сложен песчаником и алевролитом. Средняя толщина пласта – 2 м, средняя пористость по песчаникам – 19,8 %; по алевролитам – 15,5 %; средняя проницаемость по песчаникам – 0,374 мкм<sup>2</sup>, по алевролитам – 0,173 мкм<sup>2</sup>, средняя нефтенасыщенность по песчаникам – 0,874, по алевролитам – 0,699.

Пласт «а» сложен песчаниками и алевролитами. Средняя толщина пласта 2,28 м. Средняя пористость по песчаникам составляет – 20,1 %, по алевролитам – 14,6 %. Средняя проницаемость по песчаникам 0,870 доли единиц, по алевролитам – 0,721, (Камалеева А. И., 2014).

Анализируя эффективность применения MEOR с помощью нагнетания питательных веществ, дающих активную жизнь микроорганизмам, находящихся в пласте, учитывается продолжительное время и концентрация микроорганизмов.

Прогноз эффективности применения микробиологической технологии в работе рассматривается двумя способами:

1. Анализ физико-химических свойств нефти при воздействии метода MEOR на Ромашкинском месторождении: Результаты анализа свойств нефти после применения микробиологического метода на Ромашкинском месторождении отличаются от полученных результатов подобных исследований на других нефтяных месторождениях, находящихся на заключительной стадии разработки (Wei X. 2017).

2. Анализ фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов при воздействии MEOR на Ромашкинском месторождении: Эффективность применения микробиологического метода тесно связана с физическими характеристиками резервуара и условиями эксплуатации (Steven L. Bryant, 2002, 2012).

Физические характеристики пластов-коллекторов, пластовая температура, давление, пористость и проницаемость коллектора имеют важное значение для расчета эффективности применения метода. Для прогноза успешности применения метода на Ромашкинском месторождении, рассматриваются результаты применения самого метода на иных месторождениях, пласты-коллекторы которых обладают аналогичными свойствами Ромашкинского месторождения, а затем, через экстраполяцию данных получают результаты.

Одним из основных физико-химических свойств нефти следует считать плотность, она является главным показателем, и дает общее представление о свойствах нефти. Для чего необходимо иметь представление о динамике изменения плотности нефти Ромашкинского месторождения на всех стадиях разработки.

На сегодняшний день Ромашкинское месторождение находится на заключительной стадии разработки, поэтому необходимо определить плотность нефти на самой поздней стадии. Для этого, рассчитываем минимально и максимально возможные величины плотности нефти на заключительной (четвертой) стадии. Подобный подход был применен для того, чтобы выбрать широкий диапазон динамики плотности, соответственно, результаты являются надежными. Анализируя динамику изменения плотности остаточной нефти, можно определить минимальную и максимальную величину плотности в терригенных отложениях Ромашкинского месторождения, рисунок 1.

Для установления линии тренда были использованы фактические данные изменения плотности по трем первым стадиям разработки, и далее прогноз этого тренда путем полиномиальной функции, показанной на графике.

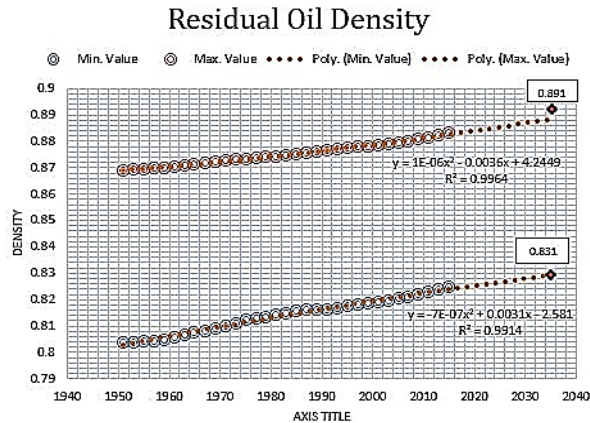


Рис. 1. Динамика изменения плотности остаточной нефти Ромашкинского месторождения

Определив плотность нефти на четвертой стадии разработки, можно аппроксимировать среднее число углерода нефти. Графики, демонстрирующие отношения между плотностью и средним числом углерода, достаточно разнообразны и построены разными исследователями и учеными. Нами использован график, построенный ученым Фирузабади в 1978 г.

Определив величину плотности нефти, можно получить минимальное и максимальное среднее число углерода нефти в терригенных отложениях Ромашкинского месторождения на четвертой стадии разработки. Из графика на рисунке 2 следует, что получаемые показатели приблизительно равны 15 и 26.

На завершающем этапе для прогноза эффективности метода был использован график, построенный Bailey S. A., Kenneth в 2001 г. Эффективность применения микробиологического метода при различных числах углерода можно проследить по рисунку 3. Очевидно, что эффективность применения метода находится в прямой зависимости от плотности нефти. Чем легче нефть, тем выше эффективность применения микробиологического метода.

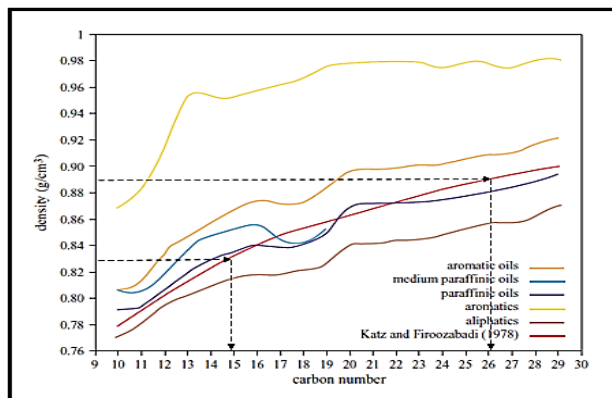


Рис. 2. График зависимости плотности нефти и ее среднего числа углерода (Halfdan S. E.)

Фигура, указанная красным пунктиром на графике, показывает диапазон числа углерода Ромашкинской нефти, соответственно и процент эффективности применения микробиологического метода. Отсюда следует, что примерная успешность работы составляет от 9 % до 30 %.

Внимание уделяется коллекторским свойствам пласта, в том числе, пористости, проницаемости, пластовой температуре, давлению, глубине залегания пласта, нефтенасыщенности и их влиянию на эффективность применения метода MEOR.

Рассматривая микробиологические технологии очевидно, что закачиваемые питательные вещества проникают в пласт, и создают благоприятные условия для размножения и жизнедеятельности бактерий. Лабораторные и промышленные эксперименты подтверждают, что продукты микробиологического воздействия изменяют межфазное натяжение между нефтью и водой, увеличивают фильтрационные сопротивления для водных растворов в высокопроницаемых зонах пласта, улучшают эффективность смачивания пород вытесняющей водой (Т. N. Nazina, 2013; J. J. Sheng, 2013).

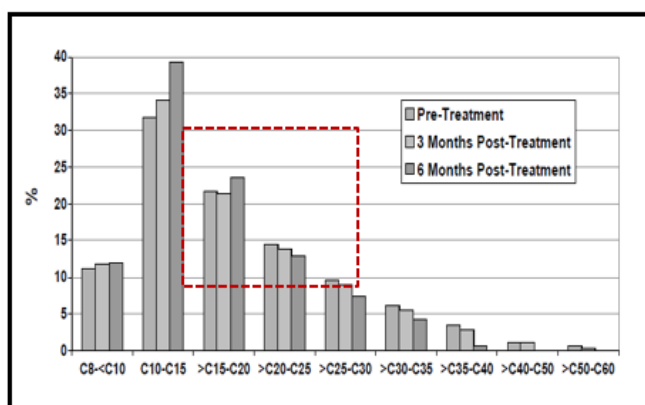


Рис. 3. Прогноз эффективности применения микробиологического метода над различными числами атомов углерода (S. A. Bailey, 2001)

Общие критерии продуктивного пласта и нефти, средние величины Ромашкинского месторождения, необходимые для применения микробиологического метода сведены в таблицу 1. Проанализировав данные, можно сделать вывод, что терригенные пласты-коллекторы Ромашкинского месторождения потенциально готовы к приему питательных веществ.

Таблица 1

Общие критерии для применения MEOR и пластовые характеристики терригенных отложений Ромашкинского месторождения

Критерии продуктивного пласта и нефти	Необходимые критерии к приему метода	Средние величины Ромашкинского месторождения
Температура пласта, °С	< 98°, Предпочтительно < 80 °С	38°
Пластовое давление, МПа	10,5–20	17,5
Глубина залегания пласта, м	< 2400–3500	1750
Пористость, %	> 0,15	0,22
Проницаемость, мкм <sup>2</sup>	> 5,1*10 <sup>-5</sup>	0,283
Плотность нефти, кг/м <sup>3</sup>	< 966	858
Вязкость нефти, мПа.с	5–50	14,6
Нефтенасыщенность	> 0,25	0,805

Далее, для прогноза эффективности, рассматриваем результаты применения микробиологического метода на ином, аналогичном месторождении. Затем, путем экстраполяции данных получаем необходимые результаты.

Рассмотрим результаты, полученные экспериментальным путем, при искусственно созданных условиях на керне одного из месторождений Нигерии. Этот керн был выбран потому как имеет аналогичные коллекторские свойства с терригенным коллектором Ромашкинского месторождения. Сравнительные данные физических свойств керна с пластовыми свойствами коллектора Ромашкинского месторождения для расчета эффективности применения MEOR приведено в таблице 2 (Godwin C. J. Nmegbu, 2014). Эксперимент был проведен в 2014 г.

**Таблица 2**

**Сравнительные данные физических свойств керна с пластовыми свойствами коллектора Ромашкинского месторождения для расчета эффективности применения MEOR**

Критерии продуктивного пласта и нефти	Свойства исследуемого керна в лаборатории	Свойства терригенных коллекторов Ромашкинского месторождения
Пористость, %	0,22	0,19–0,26
Проницаемость, мкм <sup>2</sup>	148	60–527
Остаточная нефтенасыщенность	0,15	0,05–0,16
Плотность нефти, кг/м <sup>3</sup>	800	790–890
Дебит нагнетания, м <sup>3</sup> /с	100	*
Плотность воды, кг/м <sup>3</sup>	1100	1186

Терригенные породы-коллекторы Ромашкинского месторождения обладают близкими свойствами к исследуемому керну, поэтому, потенциальные результаты метода MEOR на Ромашкинском месторождении, не могут отличаться от результатов эксперимента, проведенного на керне. Для анализа эффективности метода, важную роль играют темп нагнетания воды с питательными веществами и первоначальная масса питательных веществ (концентрация питательных веществ в нагнетаемой воде). В экспериментальной технологии темп нагнетания был постоянно равен 100 м<sup>3</sup>/с, а масса питательных веществ, в самый первый момент эксперимента, была равна 0,05 г. В результате исследований отражаются важнейшие результаты, связанные с увеличением нефтеотдачи и высокими экономическими аспектами.

На графике прогноза повышения нефтеотдачи прослеживается увеличение, в зависимости от оставшейся нефтенасыщенности, рисунок 4. Величина оставшейся нефтенасыщенности, по среднему значению в терригенных отложениях, равна 0,16. Из графика следует, что увеличение добычи нефти на Ромашкинском месторождении составит около 11 %.

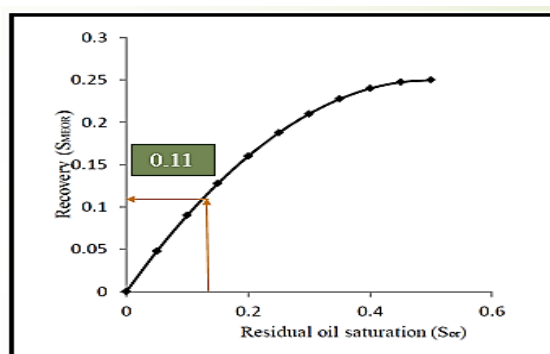


Рис. 4. График прогноза повышения нефтеотдачи (Godwin C. J. Nmegbu, 2014)

Подводя итоги по эффективности применения микробиологического метода на Ромашкинском месторождении можно сделать вывод, что этот метод обеспечивает дополнительную добычу нефти в терригенных коллекторах месторождения. Исследования базируются на фактических свойствах пластовой нефти и фильтрационно-емкостных свойствах пластов-коллекторов. Исследования показали, что минимальное влияние метода прослеживается в отложениях, где плотность нефти высокая, а максимальный эффект наблюдается, в тех участках коллектора, где имеется легкая нефть и высокая пористость пород. Эффективность применения микробиологического метода на Ромашкинском месторождении заключается в увеличении добычи нефти приблизительно на 11 %, и увеличении периода эксплуатации скважин.

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

**Contributions of the authors:** both authors made an equivalent contribution to the publication. The authors state that there is no conflict of interest.

#### Список источников

1. Абрамов В. Ю., Власов П. Н. О некоторых литолого-стратиграфических и геолого-промысловых характеристиках продуктивных горизонтов Западно-Ленинградской площади Ромашкинского месторождения // Геология и геофизика. Вестник РУДН, 2015. № 1. С. 27–35.
2. Бэйли С. А. Разнообразное успешное применение биотехнологии в нефтяной отрасли. Микробное повышение нефтеотдачи. Междунар. конф., 8–9 октября 2001.
3. Буров Б. В. и др. Геология Татарстана: Стратиграфия и Тектоника. Москва : ГЕОС, 2003. С. 401.
4. Вэй К. Л. Нефтеотдача: опыт и экономика микробного увеличения нефтеотдачи // Последствия микробных взаимодействий с углеводородами. 2017. С. 671–688.
5. Глебова Л. В., Саушин А. З. Современные методы и технологии повышения производительности скважин / учебное пос. Астрахань : Издательство АГТУ. 2014. 88 с.
6. Годвин К. Д. Нмегбу, Лотанна В. Охадзурике. Прогностическое моделирование влияния коллекторских свойств на эффективное применение микробного повышения нефтеотдачи пластов (MEOR) // Международный журнал научных и инженерных исследований. 2014. С. 601–607.
7. Камалева А. И. Исследование возможных источников нефти месторождений Татарстана // Диссертация. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Октябрьской революции. Москва. 2014. С. 149.
8. Нацина Т. Н. Микроорганизмы карбонатного нефтяного коллектора Ромашкинского месторождения и их биотехнологический потенциал // Микробиология. 2013. С. 190–200.
9. Стивен Л. Брайант Т. Пластовый инженерный анализ микробного увеличения нефтеотдачи // Оценка коллекторов и инжиниринг. 2012. № 5(05). С. 365–374.
10. Хальфдан С. Е. Состав и физические свойства углеводородов // Энциклопедия углеводородов. Т. 1. 2005.
11. Хусаинов В. М., Ахметзянов Р. Г., Хаминов Н. И. Совершенствование системы разработки остаточных запасов пашийского горизонта Ромашкинского месторождения с учетом техногенных изменений // Георесурсы, 2008. С. 29–30.
12. Ченг Ж. Ж. Введение в MEOR и его полевые применения в Китае // Примеры использования месторождений с повышенным извлечением нефти. 2013. С. 543–559.
13. Шелепов В. В., Рамазанов Р. Г., Глебова Л. В. Методы интенсификации добычи нефти и газа : учебное пос. Москва : ООО «Буки-Веди», 2020. С. 328.
14. Шаруова А. Б., Нуршаханова Л. К. Применение микробиологических методов для повышения нефтеотдачи и интенсификации нефтедобычи // Молодой ученый. Казань, 2014. № 8 (67). С. 307–309.

#### References

1. Abramov V. Y., Vlasov P. N. On some lithological-stratigraphic and geological-commercial characteristics of productive horizons of the West-Leninogorsk area of the Romashkinskoye field. *Geologiya i geofizika. Vestnik RUDN = Geology and Geophysics. Vestnik RUDN University*. 2015;1:27-35. (In Russ.).
2. Bailey S. A. Diverse successful application of biotechnology in the oil field. *Mikrobiologicheskaya Povyshennaya Nefteotdacha. 8–9 oktyabrya 2001 g. = Microbial Enhanced Oil Recovery. October 8–9, 2001*. (In Russ.).
3. Burov B. V., Butakov G. P. et al. Geology of Tatarstan: Stratigraphy and Tectonics. Moscow: GEOS, 2003:401. (In Russ.).
4. Wei K. L. Oil Recovery: Experience and Economics of Microbial Enhancement of Oil Recovery. Consequences of Microbial Interactions with Hydrocarbons. 2017:671-688. (In Russ.).
5. Glebova L. V., Saushin A. Z. Modern methods and technologies to increase the productivity of wells: Textbook. Astrakhan.: Izdatelstvo AGTU, 2014(88). (In Russ.).
6. Godwin C. J. Nmegbu, Lotanna V. Ohazurike. Predictive modeling of the effects of reservoir properties on the effective application of microbial enhanced oil recovery (MEOR). *Mezhdunarodnyy zhurnal nauchnykh i inzhenernykh issledovaniy = International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2014:601-607. (In Russ.).

7. Kamaleeva A. I. Research of possible sources of oil fields of Tatarstan. Dissertatsiya. *Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe uchrezhdenie nauki ordena Lenina i Oktyabrskoy revolyutsii = Dissertation. Federal State Budgetary Institution of Science of the Order of Lenin and the October Revolution*. Moscow, 2014:(149). (In Russ.).
8. Natsina T. N. Microorganisms of the carbonate oil reservoir of the Romashkinskoye field and their biotechnological potential. *Mikrobiologiya = Microbiology*. 2013:190-200. (In Russ.).
9. Stephen L. Bryant T. Reservoir engineering analysis of microbial enhancement oil recovery. *Otsenka rezervuarov i proektirovanie = Estimation of reservoirs and engineering*. 2012;5(05)365-374. (In Russ.).
10. Halfdan, S. E. (n.d.). Composition and physical properties of hydrocarbons. *Entsiklopediya uglevodorodov = Encyclopedia of hydrocarbon*, vol. 1, 2005. (In Russ.).
11. Khusainov V. M., Akhmetzyanov R. G., Khaminov N. I. Improvement of the system of development of residual reserves of the Pashiy horizon of the Romashkinskoye field taking into account technogenic changes. *Georesursy = Georesources*, 2008:29-30. (In Russ.).
12. Cheng J. J. Introduction to MEOR and its field applications in China. *Primery ispolzovaniya mestorozhdeniy s povyshennoy nefteotdachey = Examples of the use of fields with increased oil recovery*. 2013:543-559. (In Russ.).
13. Shelepov V. V., Ramazanov R. G., Glebova L. V. Methods of intensification of oil and gas production. Textbook. LLC «Buki-Vedi». Moscow, 2020:328. (In Russ.).
14. Sharauova A. B., Nurshakhanova L. K. Application of microbiological methods for enhanced oil recovery and intensification of oil production. *Molodoy uchenyy. Kazan = Young Scientist. Kazan*. 2014;8(67):307-309. (In Russ.).

#### **Информация об авторах**

**Л. В. Глебова** – кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель;  
**Хамидреза Голizada** – аспирант.

#### **Information about the authors**

**L. V. Glebova** – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Lecturer;  
**Hamidreza Golizade** – postgraduate student.

Статья поступила в редакцию 18.01.2022; одобрена после рецензирования 24.01.2022; принята к публикации 07.02.2022.

The article was submitted 18.01.2022; approved after reviewing 24.01.2022; accepted for publication 07.02.2022.