

Водные биоресурсы и среда обитания
2023, том 6, номер 2, с. 16–29
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
doi: 10.47921/2619-1024_2023_6_2_16
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
2023, vol. 6, no. 2, pp. 16–29
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
doi: 10.47921/2619-1024_2023_6_2_16
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

УДК 504.05

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С РАЗЛИВАМИ НЕФТИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

© 2023 Т. А. Наумова^{1,2}, А. Г. Наумов^{2,3}, Ю. С. Котов⁴

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» («НИНГУ им. Н.И. Лобачевского»), Нижний Новгород 603022, Россия

²ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» («ПИМУ» Минздрава России), Нижний Новгород 603005, Россия

³ГБУЗ НО «Нижегородский областной клинический противотуберкулезный диспансер» («НОКПД»), Нижний Новгород 603163, Россия

⁴ООО «Спасательные плоты», Нижний Новгород 603098, Россия
E-mail: ph1lin@yandex.ru

Аннотация. Добыча, транспортировка и продажа «черного золота» являются неотъемлемым элементом устойчивого экономического развития Российской Федерации. Из-за отдаленности большинства мест разработки углеводородов, негативных климатических влияний на сроки трансфера добытых ресурсов и высоких эксплуатационных нагрузок на оборудование сохраняется угроза техногенного загрязнения окружающей среды нефтью и ее продуктами. Несмотря на существующие возможности своевременной профилактики и качественной борьбы с этим явлением выбор оптимального метода ликвидации остается открытым. В статье освещены основные методы борьбы с разливами нефти в водной среде, приведена краткая характеристика этих методов, упомянута их эффективность. Авторы акцентируют внимание читателя на разрабатываемом ими техническом решении (специальном носителе), сочетающем свойства трех основных способов ликвидации искусственного загрязнения нефтепродуктами (механического, физико-химического и биологического) водной поверхности. Предложенное техническое решение, с точки зрения авторов, позволит оптимизировать процессы, направленные на ликвидацию техногенного разлива углеводородов.

Ключевые слова: нефть, аддитивные технологии, ликвидация, носитель, биоремедиация

OVERVIEW OF MAJOR WATER OIL SPILL MANAGEMENT TECHNIQUES AND EVALUATION OF THEIR EFFICIENCY

T. A. Naumova^{1,2}, A. G. Naumov^{2,3}, Yu. S. Kotov⁴

¹FSAEI HE “National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod” (NRLSU named after N.I. Lobachevsky), Nizhny Novgorod 603022, Russia

²FSBEI HE “Privolzhsky Research Medical University” (PRMU MOH Russia), Nizhny Novgorod 603005, Russia

³SBHI NNR “Nizhny Novgorod Regional Clinical Tuberculosis Dispensary” (NNRCTD), Nizhny Novgorod 603163, Russia

⁴LLC “Spasatel'nye ploty”, Nizhny Novgorod 603098, Russia

E-mail: ph1lin@yandex.ru

Abstract. The extraction, transportation and sale of “black gold” is an integral component of the sustainable economic development of the Russian Federation. Due to the remoteness of most hydrocarbon extraction sites, adverse climate-related impact on the timing of the transfer of extracted resources, and high operational loads on the equipment, the threat of technogenic environmental pollution by oil and its products persists. Despite the existing options for timely prevention and efficient management of such events, the choice of the optimal clean-up method remains open. This article identifies the main methods of dealing with oil spills in the aquatic environment, provides their brief description, and indicates their efficiency. The authors present the technical solution (a specialized carrier) they are developing, which combines the features of the three main methods for eliminating artificial oil pollution (mechanical, physico-chemical, and biological) of the water surface. The proposed technical solution, in the authors’ opinion, will allow for optimization of the clean-up practices for technogenic hydrocarbon spills.

Keywords: oil, additive manufacturing, clean-up, carrier, bioremediation

ВВЕДЕНИЕ

До сих пор техногенные разливы углеводородов (УВ) приводят к чудовищным экологическим и экономическим последствиям во многих странах мира [1–3].

В 2015 г. мировой рынок по ликвидации разливов нефти был представлен колоссальной суммой в 100,66 млрд долларов США (рис. 1) [4].

Ожидается, что к 2025 г. объем мирового рынка по ликвидации разливов нефти достигнет суммы в 177,63 млрд долларов США [4].

Исходя из вышепредставленной информации, объем работ по ликвидации аварийных разливов нефти может превышать десятки и сотни тысяч случаев в год.

К сведению, объем инвестиций в Азиатско-Тихоокеанский рынок ликвидации разливов нефти в 2015 г. составил более 16 млрд долларов США [4]. Ожидается, что рынок в регионе вырастет с ожидаемым среднегодовым темпом роста в 3,9 % с 2016 по 2025 г.

В Российской Федерации, по данным Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации [5], в сутки (показатели 2019–2020 гг.) производилось свыше 11 млн баррелей

нефти, которую необходимо постоянно депонировать и транспортировать (магистральные нефтепроводы; водный, железнодорожный и автомобильный транспорт).

Известно, что при транспортировке нефти по магистральным трубопроводам ежегодно проис-

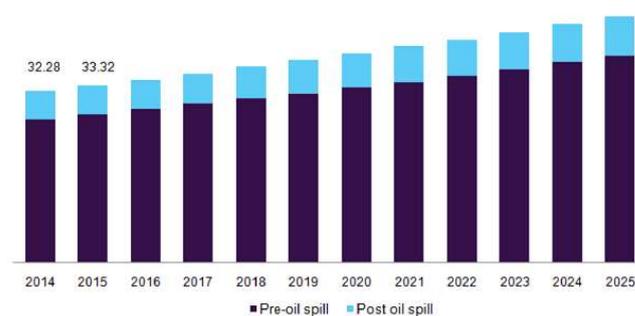


Рис. 1. Рынок стоимости профилактики и ликвидации разливов нефти в США (до (pre) и после (post) разлива нефти (oil spill)), 2014–2025 гг. (млрд долларов США) (по данным Grand View Research, 2017 г.)

Fig. 1. U.S. oil spill prevention and response cost market (before (pre) and after (post) oil spill), 2014–2025 (billion U.S. dollars) (according to Grand View Research, 2017)

ходят сотни случаев ее утечки в силу различных обстоятельств: наезд техники, пульсация, коррозия труб, разгерметизация, высокие динамические нагрузки и т. д. [6].

Например, в период с февраля по май 2022 г. объем российской нефти, находящийся в танкерах и плавучих хранилищах, увеличился в 2,9 раза (рис. 2) [7].

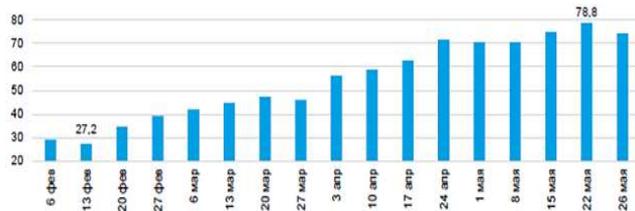


Рис. 2. Российская нефть в пути (по морю) и в плавучих хранилищах с 6 февраля по 26 мая 2022 г. (млн барр.) (по данным Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации, 2022 г.)

Fig. 2. Russian oil in transit (by sea) and in floating storage from February 6 to May 26, 2022 (million barrels) (according to the Analytical Center for the Government of the Russian Federation, 2022)

Следовательно, риск возникновения техногенного разлива нефти и продуктов ее переработки в прилежащие к внезаемному транспорту водные массы будет, несомненно, только расти.

В работе В.А. Владимирова [8] была представлена информация об объемах поступления нефтяных УВ в Мировой океан. Так, при морской транспортировке (кроме аварийных разливов) «потери» УВ составляют около 1,83 млн тонн в год, аварийные разливы — 0,3 млн тонн в год, речной сток (включая сточные воды городов) — 1,9 млн тонн в год.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом к данной публикации послужили многочисленные научные источники [1–43], а также богатый опыт авторов в аддитивном производстве, проектировании и практическом применении специальных средств, направленных на ликвидацию техногенных разливов нефти и ее продуктов в ходе реализации гранта ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» с использованием общепринятых методик.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общий взгляд на проблему ликвидации нефте-разливов с водной поверхности

Несмотря на весь спектр реализуемой контрольно-надзорной деятельности Росприроднадзора [10], в Российской Федерации в результате аварий на нефтяных месторождениях в окружающую среду ежегодно выливается не менее 50 тыс. тонн нефти и пластовых (высокоминерализованных) вод [10]. По другим данным, в Российской Федерации ежегодно происходит более 20 тыс. аварий, связанных с добычей нефти [11].

По мнению ряда специалистов [12, 13], существующая в России нормативно-правовая база, направленная на комплексную борьбу с разливами нефти и ее продуктов, требует пересмотра и как минимум некоторого усовершенствования.

По данным Росгидромета [14], в I полугодии 2019 г. службами мониторинга природной среды было зафиксировано 1695 случаев экстремально высокого и высокого загрязнения водных объектов. По сравнению с I полугодием 2018 г. (в процентном выражении) число зафиксированных случаев составило 118,4 % (рост на 18,4 %) (табл. 1).

Принято считать, что одна тонна нефти способна загрязнить приблизительно 12 км³ водной поверхности, а 1 литр нефти способствует элиминации кислорода из 40 м³ воды [15], уничтожая таким образом большинство многоклеточных организмов, биохимические процессы которых не могут адекватно происходить в анаэробных условиях.

В связи с постоянно сохраняющейся угрозой и необходимостью борьбы с аварийными разливами нефти Российская Федерация тратит сотни миллиардов рублей в год.

В 2014 г. только из-за нефтеразливов Российской Федерации был нанесен экономический ущерб, превышающий сумму в 5 млрд рублей [16].

В 2017 г. по статье «Водоснабжение: водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений» (Российский статистический ежегодник) наше государство потратило более 1 трлн рублей (в 2016 г. — 903 млрд рублей) [17].

В 2019 и 2020 гг. затраты России по вышеупомянутой статье продолжили свой рост и достигли показателей в 1 трлн 324 млрд рублей и 1 трлн 429 млрд рублей, соответственно [18].

Таблица 1. Число зафиксированных случаев загрязнения водных объектов (по данным Росгидромета, 2019 г.)**Table 1.** Number of recorded cases of pollution of water bodies (according to the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 2019)

	I полугодие 2019 г. 1 st half of 2019	В % к I полугодю 2018 г. In % relative to the 1 st half of 2018	I полугодие 2018 г. в % к I полугодю 2017 г. 1 st half of 2018 in % relative to the 1 st half of 2017
Число зафиксированных случаев Number of recorded cases	1695	118,4	99,4
в том числе: including:			
экстремально высокого загрязнения extremely high pollution	375	105,3	107,2
высокого загрязнения high pollution	1320	122,7	97,1

Основные способы ликвидации нефтеразливов с водной поверхности

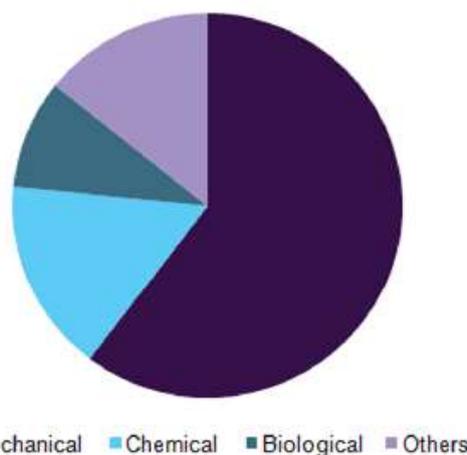
Процедура ликвидации разлива нефти и ее продуктов требует неукоснительного соблюдения иерархического принципа (принципа последовательности); в противном случае существует высокая вероятность несостоятельности запланированных мероприятий по устранению искусственного загрязнения водных масс или почвы [19, 20].

Классификация способов ликвидации нефтяных загрязнений очень схожа с классификацией утилизационных методов переработки нефтепродуктов [15, 21–23].

Способы ликвидации нефтяных загрязнений с водной поверхности принято разделять на механические (боны), термические (сжигание), химические (диспергенты), биологические (микроорганизмы-нефтедеструкторы) и физико-химические (сорбенты) [22].

Например, китайский рынок ликвидации аварийных разливов нефти был связан с более частым использованием механического способа удаления нефти и ее продуктов (на втором месте — химический способ, на третьем — другие способы и технологии, на четвертом — биологический способ) (рис. 3) [4].

Остановимся на часто используемых методах ликвидации техногенных разливов нефти и нефтепродуктов — механическом, биологическом и физико-химическом (термический метод приме-

**Рис. 3.** Китайский рынок по способам ликвидации разливов нефти, 2016 г. (%) (по данным Grand View Research, 2017 г.)**Fig. 3.** China market by oil spill response, 2016 (%) (according to Grand View Research, 2017)

няется крайне редко из-за выброса в атмосферу огромного количества загрязнителей, а химический, как правило, является неотъемлемой частью физико-химического способа).

Наиболее эффективным и безопасным способом удаления нефти и ее продуктов с водной поверхности является механический способ с применением боновых заграждений (формирование механического барьера) и сорбентов [15, 24–26].

В то же время, несмотря на небольшую стоимость и простоту эксплуатации, использование бонов и сорбентов не позволяет осуществить биоремедиацию водных масс, т. к., во-первых, они не обогащаются культурой микроорганизма (МО) или семейством микроорганизмов-нефтеокислителей (в большинстве случаев это не предусмотрено производителем), а во-вторых, они не способны устранить сохраняющийся тонкий слой нефтяной пленки на поверхности воды (из-за конструктивных и физико-химических особенностей) [22].

Развертывание бонов, а также любых других механических «сборщиков» нефти может быть затруднено на мелководье, в труднодоступных местах, в местах с нетипичным подводным и окружающим рельефом [3].

После отграничения нефтяного пятна бонами, как правило, требуется проведение дополнительных мер по доочистке [27].

Ввиду этого высокую ценность в ликвидации техногенных разливов нефти и ее продуктов представляет биологический метод (табл. 2) [22, 28, 29].

Мировой рынок использования биологического метода восстановления акваторий после аварийных разливов нефти был оценен в 2015 г. в 2,73 млрд долларов США [4].

Как отмечают в своей работе Е.А. Рогозина и др. [27], биологический метод в отдельности, к сожалению, малоэффективен при проведении мероприятий на месте разлива нефти или ее продуктов.

Следовательно, перспективным направлением развития технологий ликвидации искусственных загрязнений акваторий является создание продукта, который будет сочетать в себе лучшие свойства, присущие механическому, физико-химическому и биологическому способам.

Инновационные способы профилактики и ликвидации нефтеразливов с водной поверхности

В современной научной литературе встречается множество перспективных подходов к борьбе с аварийными разливами нефтепродуктов в различные акватории и к их профилактике.

Таблица 2. Основные преимущества и недостатки различных способов ликвидации нефтеразливов

Table 2. Main advantages and disadvantages of various oil spill clean-up methods

Основной классификационный признак Main classification feature	Разновидность метода Type of the method	Основные преимущества Main advantages	Ограничения в использовании Limitations of usage
1	2	3	4
Биологический метод Biological method	Биоразложение нефти путем внесения культуры микроорганизма в зону загрязнения нефтью Biodegradation of oil by introducing a microbial culture into the zone of oil pollution	Экологическая чистота и безопасность метода, минимум нарушения физического и химического состава очищаемых объектов. Большинство технологий биологической очистки дешевы и не очень трудоемки Environmental friendliness and safety of the method, minimal violation of the physical and chemical composition of the areas subjected to clean-up. Most biological treatment technologies are cheap and not very labor intensive	Длительность процесса, ограниченность применения теплым временем года, опасность загрязнения вредными соединениями, образующимися в процессе жизнедеятельности микроорганизма Duration of the process, its application being limited to the warm season, the danger of contamination with harmful by-products of microbial metabolism

Таблица 2 (окончание)

Table 2 (finished)

1	2	3	4
Физико-химический метод Physico-chemical method	Применение специально подобранных диспергентов и сорбентов для сбора нефти Application of specially selected dispersants and sorbents for oil recovery	Эффективность метода в тех случаях, когда механический сбор нефти невозможен — например, при малой толщине пленки или когда разлившаяся нефть представляет реальную угрозу наиболее экологически уязвимым районам Viability of this method in the cases where mechanical containment and recovery of oil is impossible—for example, if the oil film is thin or the spill poses a severe threat to the most environmentally vulnerable areas	Высокая стоимость реагентов. Требуется применения специального дозирующего оборудования, перемешивающих устройств. Образуются не утилизируемые твердые отходы High cost of the reagents. Requires the use of specialized dosing equipment and mixing devices. Generates non-recyclable solid waste
Механический метод Mechanical method	Оттеснение нефтяного пятна к берегу путем использования заградительных бонов Pushing the oil slick to the shore by using barrier booms	Относится к одним из главных (распространенных) методов ликвидации разлива нефти, применение которого наиболее эффективно в первые часы после разлива. Сравнительно низкие затраты One of the main (most widely used) methods of oil spill clean-up, the use of which is most effective within the first hours after the spill. Relatively low-cost	При малой толщине нефтяного слоя, большой площади его распространения и постоянном движении поверхностного слоя под воздействием ветра и течения процесс отделения нефти от воды достаточно затруднен If the oil film is thin, the spreading area is large, and the surface layer constantly shifts under the influence of wind and current, it complicates the process of separating oil from water

Например, Я.Д. Золотых и А.К. Молдаков [30] в своей работе представили опыт уральских исследователей, создавших специальный коагулянт под названием «БиоМикроГель». С точки зрения разработчиков, данный препарат способен безопасно обволакивать нефтяное пятно с формированием взвешенного осадка в виде хлопьев, не причиняя вреда окружающей среде. Однако хлопьевидный осадок должен быть удален и корректно утили-

зирован, что будет закономерно способствовать удорожанию технологии.

Ч. Лю и К.А. Моторова [31] полагают, что так называемая сверхпроводящая магнитная жидкость, представляющая собой стабилизированную коллоидную дисперсию, способна эффективно «отделять» нефть от воды за счет внешнего магнитного поля без дополнительных существенных затрат. Представленный метод вызывает сомнения отно-

сительно основных химических элементов, являющихся неотъемлемой частью сверхпроводящей магнитной жидкости, — оксида железа и олеиновой кислоты. Олеиновая кислота не оказывает существенного влияния на экологические показатели, однако оксид железа при определенных условиях может выпадать в осадок в виде гидроокиси и способствовать сосаждению ионов тяжелых металлов [32], кардинально видоизменяя физико-химические свойства воды [33].

В научной публикации Д.Ч. Чан И и Л.А. Зенитовой [25] был рассмотрен вопрос поиска замены дорогостоящего синтетического сорбента (пенополиуретана (ППУ)) на более качественный природный низкотоксичный аналог [34]. В роли этого аналога, по мнению авторов, может выступать хитин как дополняющий компонент ППУ, что в конечном счете позволит снизить себестоимость производства сорбента, а также в значительной степени улучшит его физико-химические свойства и расширит области применения. Авторы представленной научной работы не смогли полностью заместить ППУ хитином. Известно, что при длительном контакте с водой, особенно во время горения нефтяной пленки, ППУ может выделять токсичные диизоцианаты, которые способны оказывать тератогенное действие на организм человека.

Для минимизации риска загрязнения арктических акваторий С.А. Идрисова [19] приводит интересную концепцию компании Nemo Engineering AS, которая предполагает использование при освоении месторождений арктического шельфа специального защитного кессона (контура) из стальных конструкций. В случае повреждения такой конструкции, по мнению С.А. Идрисовой, аварийного выброса УВ не происходит и сохраняется возможность ремонта. При активной эксплуатации данного оборудования нельзя исключать «оккультного» (скрытого) накопления нефтяных УВ в поврежденных или изношенных элементах защитного кессона с последующим постепенным «растеканием» нефти по морскому дну.

Я.В. Гребнев и др. [35], при использовании узкоспециализированного программного обеспечения и языка программирования Python, провели моделирование процесса нефтеразлива с целью последующего анализа распределения концентрации загрязняющих веществ и нейросетевого прогнозирования суммарной площади поражения.

Специалисты пришли к выводу, что полученная модель, после поступления корректирующей информации, обладала достаточной корреляцией между прогнозируемыми показателями и реальными показателями случая искусственного загрязнения водных масс при разгерметизации трубопровода во время перекачки УВ с судна в резервуар на реке Хатанга (Красноярский край). Данный способ превентивного прогнозирования нефтеразливов, безусловно, имеет право на существование и, возможно, массовое внедрение в будущем, но нуждается, на наш взгляд, в более длительной апробации нейросетевого алгоритма для получения максимально достоверных результатов.

Оптимизация процесса утилизации нефти и ее продуктов с поверхности воды с помощью специального разрабатываемого носителя

Оптимизация процесса утилизации нефти и ее продуктов из водных масс с использованием разрабатываемого носителя позволит, с точки зрения авторов, снизить финансовые затраты, направленные на ликвидацию аварийного разлива УВ, а также минимизировать биологический ущерб, который с годами может не только проявиться в виде гибели целых экосистем, но и нанести непоправимый урон человеческому здоровью.

Разрабатываемый носитель сочетает в себе свойства трех способов ликвидации нефтеразливов: механический компонент обезвреживания нефтяного пятна реализуется за счет принципа УВ «ловушки» (нефть попадает и задерживается в носителе за счет перфораций в его стенках), физико-химический компонент обезвреживания нефтяного пятна — за счет наличия внутри изделия инертного, пористого материала-сорбента, биологический компонент — путем использования высокоселективной (экологически безвредной) монокультуры МО, адгезированной на сорбенте и способной окислять нефть и ее продукты (рис. 4).

Как уже было упомянуто выше, в прототипе специального носителя используется инертный синтетический пористый материал-сорбент (ППУ), защищенный от избыточного воздействия факторов внешней среды (сорбент находится внутри носителя), на который адгезируется (инокулируется) микробная культура без необходимости механического перемешивания.

В существующей научной литературе нет четкой информации об алгоритмах корректного внесения моно- или гетерокультуры МО в нефтяное пятно.

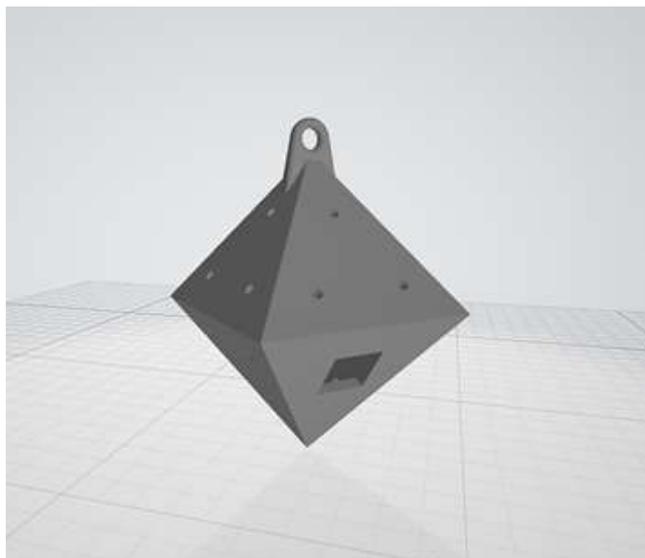


Рис. 4. Разрабатываемый носитель с зоной крепления в виде кольца, перфорациями в стенках и специальным квадратным «окном» для введения через него пористого сорбента

Fig. 4. Carrier under development, with a ring-shaped fastener, perforations in its walls, and a square “window” intended for insertion of a porous sorbent

Например, в работе О.В. Жуковой и Н.В. Морозовой [36] «заселение» микрофлоры на поверхность нефтяной пленки в эксперименте осуществлялось с помощью распыления, рассыпания вместе с сорбентом и путем механического перемешивания с сорбентом. Авторами было отмечено, что механическое перемешивание МО с сорбентом оказало наиболее эффективное влияние на снятие нефтяного загрязнения. Вероятно, это связано с наиболее пропорциональным распределением культуры МО и сорбента, который также является субстратом для наращивания микробной биомассы. Однако существует относительный риск гибели некоторого объема микробной культуры за счет механической кавитации клеточной стенки бактерий.

Фабрикация предлагаемого авторами носителя может быть осуществлена с помощью профессионального или любительского 3D-принтера по технологии послойного наплавления полимерного филамента (FDM-технология аддитивного производства). Т. е., фактически, выпуск носителя может быть развернут в полевых условиях.

Разрабатываемый носитель имеет форму октаэдра (форма «обратной капли»), напоминающую поплавков, что препятствует его чрезмерному погружению в толщу воды за счет хорошей гидро-

динамической сопротивляемости и оптимальной остойчивости (стенки носителя полые и заполнены воздухом). Носитель выполнен из нетоксичного биоразлагаемого полимера полилактида (PLA-пластик) [37], характеризующегося удовлетворительными показателями механической прочности [38] и химической резистентности [39]. Носитель на своей вершине оснащен кольцом для крепления к заградительным сооружениям для борьбы с нефтеразливом, а в его треугольных гранях располагаются перфорации для высвобождения МО и захвата нефтяной пленки. В нижней треугольной грани носителя находится «окно» для введения через него пористого сорбента.

Одним из приоритетных микробных кандидатов для инокуляции в пористый материал-сорбент, находящийся внутри разрабатываемого носителя, являются бактерии из рода *Micrococcus*. При не состоятельности результатов биodeградации УВ бактериями из рода *Micrococcus* не исключается применение другого перспективного микробного агента из рода *Bacillus* [40], способного полностью или частично утилизировать октан, салицилат, нафталин, ортофталат и многие другие ароматические соединения.

В работе Ю.С. Голозубовой [41] была доказана высокая нефтеокисляющая способность бактерий из рода *Micrococcus* при борьбе с нефтяными разливами, которые были выделены из поверхностных вод бухты Находка залива Петра Великого (Японское море). Температура воды Японского моря в холодном секторе в летний период составляет 18–22 °С, зимой — 2–8 °С [42]. В теплом секторе Японского моря наблюдаются иные температурные показатели: в летний период температура составляет 24–27 °С, а в зимний период — 6–12 °С [42]. Многие виды бактерий из рода *Micrococcus* могут метаболизировать при низких температурах от 5 до 8 °С, что немаловажно для их промышленного применения в области ликвидации аварийных разливов нефти в различных акваториях. В эксперименте [41] микробные агенты из рода *Micrococcus* разлагали 65–99,9 % нефти и нефтепродуктов в течение 30 суток.

Себестоимость (вместе с МО) одного носителя, по предварительным расчетам, не будет превышать 125 рублей.

Например, по данным АПК «Витус» [43], затраты на использование коммерческих биопрепаратов («Путидойл», «Деворойл», «Деградойл» и

т. д.) для борьбы с нефтяным загрязнением воды могут составлять до 150 долларов США на 1 га водной поверхности (по курсу валюты на 10.04.2022 — 9190,5 рублей) без учета технологических затрат на активацию биопрепарата перед его использованием и обработку им участка. Таким образом, цена данных биопрепаратов превосходит стоимость одного эталонного разрабатываемого носителя практически в 74 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенные разливы нефти и ее продуктов наносят колоссальный ущерб не только экономике многих государств, но и множеству экосистем в целом. Существующие способы ликвидации нефтяных загрязнений не всегда успешны и нуждаются в модернизации. Многие молодые специалисты занимаются поиском инновационных подходов для решения вопросов в области прогнозирования, профилактики и эффективной ликвидации нефтеразливов. Некоторые из них реализуемы, другие требуют углубленного изучения и постепенного внедрения в отрасль. Важной составляющей любого мероприятия по снятию нефтяного загрязнения является адекватная биоремедиация. В связи с высокой стоимостью биопрепаратов для проведения биоремедиации, их чрезмерным разнообразием и отсутствием четких рекомендаций по корректному внесению биопрепарата в зону поражения разработка специального носителя для высокоселективной культуры микроорганизма-нефтеоокислителя является перспективным направлением. Согласно проведенным расчетам, небольшая стоимость разрабатываемого носителя позволит окупить данное технологическое решение за короткий промежуток времени и, вероятно, найдет свою нишу на рынке благодаря простой конструкции и надежности.

Исследование выполнено в рамках гранта ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по договору № 993ГССС15-Л/83069 от 26.12.2022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дронов Д.А. Экологические риски добычи углеводородов в условиях арктического шельфа // Синергия наук. 2021. № 58. С. 285–292.
2. Болотов Г.Б. Примеры и некоторые статистические данные о разливах нефти и нефтепродуктов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. № 4 (41). С. 123–128.
3. Савенок В.Е., Ковалевская Н.А., Марущак А.С. Технологии улавливания и сбора нефтенасыщенных сорбентов с очищаемых поверхностей // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2015. № 2 (29). С. 108–113.
4. Oil spill management market size, share & trends analysis report by technology (pre-oil spill, post-oil spill), by response technique (mechanical containment & recovery, chemical recovery, biological recovery), by application, and segment forecasts, 2018–2025 // Grand View Research. Drilling & Extraction Equipments. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/oil-spill-management-market> (дата обращения 07.06.2020).
5. Гимади В., Курдин А., Кутузова А., Звягинцева А., Амирагян А., Колобов О., Колобанов С., Антонян Л., Поминова И., Мартынюк А., Подлесная А. Глобальная нефтяная сделка (апрель 2020) // Энергетический бюллетень. 2020. Вып. 83. 28 с.
6. Шульгина Т.В. Причины разлива нефти // Проблемы науки. 2018. № 2 (26). С. 34–37.
7. Курдин А., Скрыбина В., Федоров С., Федоренко Д. Мировой рынок нефти: новые правила игры для России // Энергетические тренды. 2022. Вып. 109. 16 с.
8. Владимиров В.А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. Т. 4, № 1 (6). С. 217–229.
9. Доклад о деятельности Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2021 году. М.: Изд-во Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, 2022. 165 с.
10. Загуменнов А. Югру и Ямал «просветят». Правительство привлечет Роскосмос к мониторингу нефтеразливов. Слишком часто все стали врать // Информационно-аналитическое агентство «УРА.РУ». 2014. URL: <https://ura.news/news/1052175840> (дата обращения 01.12.2022).
11. Забелло Е. Нефтяные слезы России: аварии на нефтепроводах провоцируют рак // Сетевое издание «РБК». 2012. URL: <https://www.rbc.ru/economics/10/04/2012/5703f5c09a7947ac81a66c05> (дата обращения 03.11.2022).
12. Этин В.Л., Чебан Е.Ю., Иванов В.М., Васькин С.В., Лукина Е.А., Сосенков Ф.С. Организация борьбы с разливами нефти на внутренних водных путях. Нижний Новгород: Изд-во Волжского государственного университета водного транспорта, 2015. 292 с.
13. Притужалова О.А., Ноженко А.И. Применение инструментария систем экологического менеджмента для оптимизации деятельности предприятий в сфере предотвращения и ликвидации аварийных разливов нефти // Архивариус. 2016. № 10 (2). С. 17–21.
14. Окружающая среда (по данным Росгидромета). I полугодие 2019 г. // Федеральная служба госу-

- дарственной статистики : официальный веб-сайт. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b19_01/IssWWW.exe/Stg/d06/3-3.doc (дата обращения 01.08.2020).
15. Долгополова О.Н. Рекомендуемые технологии ликвидации разливов нефти // Научный журнал Российского газового общества. 2019. № 3–4 (22–23). С. 60–76.
 16. В результате нефтеразливов в 2014 г. водным объектам РФ был нанесен ущерб более чем на 5 млрд руб. // Федеральная служба по надзору в сфере природопользования : официальный веб-сайт. 2019. URL: <https://rpn.gov.ru/news/973/> (дата обращения 02.09.2020).
 17. Российский статистический ежегодник 2018 : статистический сборник / Под ред. А.Е. Суринова. М.: Изд-во Федеральной службы государственной статистики, 2018. 694 с.
 18. Российский статистический ежегодник 2021 : статистический сборник / Под ред. П.В. Малкова. М.: Изд-во Федеральной службы государственной статистики, 2021. 692 с.
 19. Идрисова С.А. Современные технологии борьбы с аварийными разливами нефти в арктических условиях // Современные научные исследования и разработки. 2017. № 4 (12). С. 128–133.
 20. Асфандиярова Л.Р., Байtimiров А.Р., Саушин И.И. Ликвидация аварийных разливов нефти // Лучшая студенческая статья 2020 : сб. статей II Междунар. науч.-иссл. конкурса (г. Петрозаводск, 29 ноября 2020 г.). Петрозаводск: Новая наука, 2020. Т. 2. С. 35–45.
 21. Сафаров А.Х. Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду отходов нефтехимического производства : дис. ... докт. тех. наук. Уфа: Изд-во Уфимского государственного нефтяного технического университета, 2019. 303 с.
 22. Кабанов А.Н., Заряева Е.В. Анализ методов ликвидации разлива нефти при добыче и транспортировке на примере месторождения Приразломное // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т. 29, № 2 (161). С. 128–130.
 23. Сбор нефти с поверхности воды // Нефтегаз : официальный сайт международной выставки «Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса». 2016. URL: <https://www.neftegaz-expo.ru/ru/articles/2016/sbor-nefti-s-poverhnosti-vody/> (дата обращения 10.09.2020).
 24. Чистяков Н.А. Современные методы борьбы с разливами нефтепродуктов // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации : матер. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Омск, 7–9 декабря 2016 г.). Омск: Изд-во Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии, 2016. С. 1025–1028.
 25. Чан И Д.Ч., Зенитова Л.А. Удаление разливов нефти гидрофобным сорбционным материалом на основе хитина и пенополиуретана // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16, № 4. С. 66–69.
 26. Мансуров А.С.у. Способы борьбы с аварийным разливом нефти // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : сб. статей XLII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 15 февраля 2021 г.). Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 40–42.
 27. Рогозина Е.А., Андреева О.А., Жаркова С.И., Маргынова Д.А., Орлова Н.А. Сравнительная характеристика отечественных биопрепаратов, предлагаемых для очистки почв и грунтов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5, № 3. С. 1–18.
 28. Садчиков А.В., Черных М.С. Нефтедеструкция и биоремедиация // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5. С. 1–7.
 29. Яровенко Э.Е., Катувльский Ю.Н. Сравнительная характеристика основных методов утилизации и переработки нефтесодержащих отходов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2016. Т. 1, № 1. С. 386–393.
 30. Золотых Я.Д., Молдаков А.К. Инновационное средство борьбы с аварийными разливами нефти // Вестник современных исследований. 2016. № 2-1 (2). С. 106–108.
 31. Лю Ч., Моторова К.А. Разработка устройства для очистки воды от нефтепродуктов с использованием магнитной жидкости // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 2 (73). С. 139–145.
 32. Антонова Е.А. Техногенные источники поступления железа и марганца в воды бассейна р. Камы // Географический вестник. 2011. № 2 (17). С. 26–31.
 33. Зиновьев Е.А., Китаев А.Б. О воздействии взвешенных частиц на гидрофауну // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 5. С. 283–288.
 34. Варламов В.П., Ильина А.В., Шагдарова Б.Ц., Луньков А.П., Мысякина И.С. Хитин/хитозан и его производные: фундаментальные и прикладные аспекты // Успехи биологической химии. 2020. Т. 60. С. 317–368.
 35. Гребнев Я.В., Москалев А.К., Шагидулина Д.И., Антонов А.В., Иванов Д.В. Разработка модели разлива нефтепродуктов на потенциально-опасном объекте в арктической зоне Красноярского края средствами имитационного моделирования // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1 (24). С. 132–139. doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.96.50.013.
 36. Жукова О.В., Морозов Н.В. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями-сорбентами при снятии локального нефтяного загрязнения // Вестник Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета. 2010. № 3 (21). С. 99–106.

37. Шумейко И.А., Зайченко Н.О. Анализ пластмасс при их выборе для 3D печати модели ветроэнергетической установки // *Universum: технические науки*. 2021. № 3-1 (84). С. 74–77.
38. Роговина С.З., Алексанян К.В., Владимиров Л.В., Берлин А.А. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе полилактида // *Химическая физика*. 2019. Т. 38, № 9. С. 39–46. doi: 10.1134/S0207401X19090097.
39. Горюнова П.Е. Термодинамические свойства сополимеров на основе хитозана : дис. ... канд. хим. наук. Нижний Новгород: Изд-во Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 2021. 152 с.
40. Садунова А.В. Общая характеристика бактерий рода *Bacillus* // Студенческий научный форум — 2014 : матер. VI Междунар. студенческой электронной науч. конф. (г. Пенза, 15 февраля – 31 марта 2014 г.). Пенза: Академия естествознания, 2014. 66 с. URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014001198> (дата обращения 19.12.2022).
41. Голозубова Ю.С., Бузолева Л.С., Богатыренко Е.А., Ким А.В., Еськова А.И. Нефтеокисляющие свойства бактерий рода *Micrococcus*, выделенных из бухты Находка залива Петра Великого (Японское море) // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7, № 2 (23). С. 13–16.
42. Плетнев С.П. Палеоокеанология Японского моря на раннем этапе развития // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2015. № 2 (40). С. 159–169.
43. Биопрепараты — деструкторы нефти и нефтепродуктов // Центр независимой экспертизы состояния зеленых насаждений : официальный веб-сайт. 2012. URL: <https://vitusltd.ru/blog/rekultivaciya/4299> (дата обращения 07.06.2020).
4. Oil spill management market size, share & trends analysis report by technology (pre-oil spill, post-oil spill), by response technique (mechanical containment & recovery, chemical recovery, biological recovery), by application, and segment forecasts, 2018–2025. In: *Grand View Research. Drilling & Extraction Equipments*. Available at: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/oil-spill-management-market> (accessed 07.06.2020).
5. Gimadi V., Kurdin A., Kutuzova A., Zvyagintseva A., Amiragyan A., Kolobov O., Kolobanov S., Antonyan L., Pominova I., Martynyuk A., Podlesnaya A. Global'naya neftyanaya sdelka (aprel' 2020) [Global oil agreement (April 2020)]. *Energeticheskij byulleten'* [Energy Bulletin], 2020, issue 83, 28 p. (In Russian).
6. Shulgina T.V. Prichiny razliva nefi [Oil spill causes]. *Problemy nauki* [Problems of Science], 2018, no. 2 (26), pp. 34–37. (In Russian).
7. Kurdin A., Skryabina V., Fedorov S., Fedorenko D. Mirovoy rynek nefi: novye pravila igry dlya Rossii [World oil market: New play rules for Russia]. *Energeticheskie trendy* [Trends in Energy], 2022, issue 109, 16 p. (In Russian).
8. Vladimirov V.A. Razlivi nefi: prichiny, masshtaby, posledstviya [Oil spills: causes, extent, consequences]. *Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya* [Strategy of Civil Protection: Problems and Research], 2014, vol. 4, no. 1 (6), pp. 217–229. (In Russian).
9. Doklad o deyatelnosti Federal'noy sluzhby po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya v 2021 godu [Report on the activity of the Federal Supervisory Natural Resources Management Service in 2021]. Moscow: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya [Federal Supervisory Natural Resources Management Service] Publ., 2022, 165 p. (In Russian).
10. Zagumennov A. Yugru i Yamal “prosvetyat”. Pravitel'stvo privlechet Roskosmos k monitoringu nefterazlivov. Slishkom chasto vse stali vrat' [“Light will be shone” on Yugra and Yamal. Authorities will enlist the assistance of Roscosmos in the monitoring of oil spills. Too many lies recently]. In: *Informatsionno-analiticheskoe agentsvo “URA.RU”* [Information Agency “URA.RU”], 2014. Available at: <https://ura.news/news/1052175840> (accessed 01.12.2022). (In Russian).
11. Zabello E. Neftyanye slezy Rossii: avarii na nefteprovodakh provotsiruyut rak [Oil tears in Russia: breakages in the oil piping can induce cancer]. In: *Setevoe izdanie “RBK”* [Online Media Group “RosBusinessConsulting”], 2012. Available at: <https://www.rbc.ru/economics/10/04/2012/5703f5c09a7947ac81a66c05> (accessed 03.11.2022). (In Russian).
12. Etin V.L., Cheban E.Yu., Ivanov V.M., Vaskin S.V., Lukina E.A., Sosonkov F.S. Organizatsiya bor'by

REFERENCES

1. Dronov D.A. Ekologicheskie riski dobychi uglevodorodov v usloviyakh arkticheskogo shel'fa [Environmental risks of hydrocarbon extraction in the Arctic Shelf]. *Sinergiya nauk* [Synergy of Science], 2021, no. 58, pp. 285–292. (In Russian).
2. Bolotov G.B. Primery i nekotorye statisticheskie dannye o razlivakh nefi i nefteproduktov [Examples and some statistics on oil and petroleum product spills]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala* [Geology and Mineral Resources of the Western Urals], 2021, no. 4 (41), pp. 123–128. (In Russian).
3. Savenok V.E., Kovalevskaya N.A., Marushchak A.S. Tekhnologii ulavlivaniya i sbora neftenasyschennykh sorbentov s ochishchaemykh poverkhnostey [Technologies for capturing and collecting of oil sorbent from the cleaned surfaces]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Vestnik of Vitebsk State Technological University], 2015, no. 2 (29), pp. 108–113. (In Russian).

- s razlivami nefiti na vnutrennikh vodnykh putyakh [Management of oil spill clean-up operations in the inland navigable waterways]. Nizhny Novgorod: Volzhskiy gosudarstvennyy universitet vodnogo transporta [Volga State University of Water Transport] Publ., 2015, 292 p. (In Russian).
13. Prituzhalova O.A., Nozhenko A.I. Primenenie instrumentariya sistem ekologicheskogo menedzhmenta dlya optimizatsii deyatel'nosti predpriyatiy v sfere predotvrashcheniya i likvidatsii avariynykh razlivov nefiti [Application of instrumentation of environmental management systems for optimization of enterprises activity in sphere of prevention and elimination of oil spill responses]. *Arkhivarius [Archivarius]*, 2016, no. 10 (2), pp. 17–21. (In Russian).
 14. Okruzhayushchaya sreda (po dannym Rosgidrometa). I polugodie 2019 g. [Environment (based on the data collected by the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia). The 1st half of 2019]. In: *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki : ofitsial'nyy veb-sayt [Federal State Statistics Service. Official website]*. Available at: http://www.gks.ru/bgd/regl/b19_01/IssWWW.exe/Stg/d06/3-3.doc (accessed 01.08.2020). (In Russian).
 15. Dolgoplova O.N. Rekomenduemye tekhnologii likvidatsii razlivov nefiti [Recommended oil elimination technologies]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo gazovogo obshchestva [Scientific Journal of the Russian Gas Society]*, 2019, no. 3–4 (22–23), pp. 60–76. (In Russian).
 16. V rezul'tate nefterazlivov v 2014 g. vodnym ob'ektam RF byl nanesen ushcherb bolee chem na 5 mlrd rub [In 2014, oil spills resulted in more than 5 billion RUB damage to the water bodies of the Russian Federation]. In: *Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya : ofitsial'nyy veb-sayt [Federal Supervisory Natural Resources Management Service. Official website]*, 2019. Available at: <https://rpn.gov.ru/news/973/> (accessed 02.09.2020). (In Russian).
 17. Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik 2018 : statisticheskiy sbornik [Russian statistical yearbook 2018. Statistical handbook]. A.E. Surinov (Ed.). Moscow: Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service] Publ., 2018, 694 p. (In Russian).
 18. Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik 2021: statisticheskiy sbornik [Russian statistical yearbook 2021. Statistical handbook]. P.V. Malkov (Ed.). Moscow: Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service] Publ., 2021, 692 p. (In Russian).
 19. Idrisova S.A. Sovremennye tekhnologii bor'by s avariynymi razlivami nefiti v arkticheskikh usloviyakh [Modern technologies of liquidation oil spills in Arctic areas]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki [Modern Research and Development]*, 2017, no. 4 (12), pp. 128–133. (In Russian).
 20. Asfandiyarova L.R., Baytimirov A.R., Saushin I.I. Likvidatsiya avariynykh razlivov nefiti [The liquidation of the accident oil spill]. In: *Luchshaya studenteskaya stat'ya 2020 : sbornik statey II Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa (g. Petrozavodsk, 29 noyabrya 2020 g.) [Best student paper 2020. Collected papers of the 2nd International Research Contest (Petrozavodsk, 29 November, 2020)]*. Petrozavodsk: Novaya nauka [New Science], 2020, vol. 2, pp. 35–45. (In Russian).
 21. Safarov A.Kh. Snizhenie tekhnogennoy nagruzki na okruzhayushchuyu sredu otkhodov neftekhimicheskogo proizvodstva : dis. ... dokt. tekhn. nauk [Mitigation of environmental footprint of petrochemical production wastes. Doctor's (Engineering) Thesis]. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskoy universitet [Ufa State Petroleum Technological University] Publ., 2019, 303 p. (In Russian).
 22. Kabanov A.N., Zaryaeva E.V. Analiz metodov likvidatsii razliva nefiti pri dobyche i transportirovke na primere mestorozhdeniya Prirazlomnoe [Analysis of methods for oil spill response in the extraction and transportation in the example of the Prirazlomnoe field]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii [Advances in Chemistry and Chemical Technology]*, 2015, vol. 29, no. 2 (161), pp. 128–130. (In Russian).
 23. Sbor nefiti s poverkhnosti vody [Oil collection from the water surface]. In: *Neftegaz : ofitsial'nyy sayt mezhdunarodnoy vystavki "Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa" [Petro-Gas. Official website of the International Exhibition "Equipment and technology for oil and gas industry"]*, 2016. Available at: <https://www.neftegaz-expo.ru/ru/articles/2016/sbor-nefti-s-poverkhnosti-vody/> (accessed 10.09.2020). (In Russian).
 24. Chistyakov N.A. Sovremennye metody bor'by s razlivami nefteproduktov [Modern methods of dealing with oil spills]. In: *Arkhitekturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy komplekсы: problemy, perspektivy, innovatsii : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Omsk, 7–9 dekabrya 2016 g.) [Architecture, construction, and road transportation: problems, prospects, innovations. Proceedings of the International Research and Practice Conference (Omsk, 7–9 December, 2016)]*. Omsk: Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobil'no-dorozhnaya akademiya [Siberian State Automobile and Highway University] Publ., 2016, pp. 1025–1028. (In Russian).
 25. Chan I D.Ch., Zenitova L.A. Udalenie razlivov nefiti gidrofobnym sorbtsionnym materialom na osnove khitina i penopoliuretana [Removal of the oil spill by the hydrophobic sorbent based on polyurethane foam, chitin and the silicone-containing polymer]. *Ekologicheskiy vestnik Severnogo Kavkaza [The North Caucasus Ecological Herald]*, 2020, vol. 16, no. 4, pp. 66–69. (In Russian).

26. Mansurov A.S.u. Sposoby bor'by s avariynym razlivom nefti [Ways to deal with an emergency oil spill]. In: *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii : sbornik statey XLII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Penza, 15 fevralya 2021 g.)* [Fundamental and applied research: current challenges, achievements and innovations. Collected works of the 42nd International Research and Practice Conference (Penza, 15 February, 2021)]. Penza: Nauka i Prosveshchenie [Science and Education], 2021, pp. 40–42. (In Russian).
27. Rogozina E.A., Andreeva O.A., Zharkova S.I., Martynova D.A., Orlova N.A. Sravnitel'naya kharakteristika otechestvennykh biopreparatov, predlagaemykh dlya ochistki pochv i gruntov ot zagryazneniya neft'yu i nefteproduktami [Comparative characteristic of native biopreparations proposed for cleanup of soils and grounds from pollution]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika* [Petroleum Geology. Theoretical and Applied Studies], 2010, vol. 5, no. 3, pp. 1–18. (In Russian).
28. Sadchikov A.V., Chernykh M.S. Neftedestruktsiya i bioremediatsiya [Oil destruction and bioremediation]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2016, no. 5, pp. 1–7. (In Russian).
29. Yarovenko E.E., Katul'skiy Yu.N. Sravnitel'naya kharakteristika osnovnykh metodov utilizatsii i pererabotki neftesoderzhashchikh otkhodov [Comparative characteristics of the main methods of processing and recycling of waste oil]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific Papers Collection of the Angarsk State Technical University], 2016, vol. 1, no. 1, pp. 386–393. (In Russian).
30. Zolotykh Ya.D., Moldakov A.K. Innovatsionnoe sredstvo bor'by s avariynymi razlivami nefti [Innovative technique for responding to oil spill emergencies]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy* [Current Research Herald], 2016, no. 2-1 (2), pp. 106–108. (In Russian).
31. Lyu Ch., Motorova K.A. Razrabotka ustroystva dlya ochistki vody ot nefteproduktov s ispol'zovaniem magnitnoy zhidkosti [Research and development of a device for purifying water from petroleum products using magnetic fluid]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2019, no. 2 (73), pp. 139–145. (In Russian).
32. Antonova E.A. Tekhnogennye istochniki postupleniya zheleza i margantsa v vody basseyna r. Kamy [Technogenic sources of iron and manganese to the water of the Kama River Basin]. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2011, no. 2 (17), pp. 26–31. (In Russian).
33. Zinov'yev E.A., Kitaev A.B. O vozdeystvii vzveshennykh chastits na gidrofaunu [About the impact of suspended particles on hydrofauna]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2015, vol. 17, no. 5, pp. 283–288. (In Russian).
34. Varlamov V.P., Il'ina A.V., Shagdarova B.T., Lun'kov A.P., Mysyakina I.S. Chitin/chitosan and its derivatives: Fundamental problems and practical approaches. *Biochemistry (Moscow)*, 2020, vol. 85, suppl. 1, pp. 154–176. doi: 10.1134/S0006297920140084.
35. Grebnev Ya.V., Moskalev A.K., Shagidulina D.I., Antonov A.V., Ivanov D.V. Razrabotka modeli rozliva nefteproduktov na potentsial'no-opasnom ob'ekte v arkticheskoy zone Krasnoyarskogo kraya sredstvami imitatsionnogo modelirovaniya [Development of an oil spill model at a potentially hazardous facility in the Arctic zone of the Krasnoyarsk Territory by means of simulation modeling]. *Sibirskiy pozharno-spatel'nyy vestnik* [Siberian Fire and Rescue Bulletin], 2022, no. 1 (24), pp. 132–139. doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.96.50.013. (In Russian).
36. Zhukova O.V., Morozov N.V. Vzaimodeystvie mikroorganizmov s tverdymi poverkhnostyami-sorbentami pri snyatii lokal'nogo neftyanogo zagryazneniya [The interaction of microorganisms with firm surfaces in the process of cleaning of the local oil pollution]. *Vestnik Tatarskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta* [Herald of Tatar State University of Humanities and Education], 2010, no. 3 (21), pp. 99–106. (In Russian).
37. Shumeyko I.A., Zaychenko N.O. Analiz plastmass pri ikh vybore dlya 3D pechati modeli vetroenergeticheskoy ustanovki [Analysis of plastics when choosing them for 3D printing of a wind power plant model]. *Universum: tekhnicheskie nauki* [Universum: Technical Sciences], 2021, no. 3-1 (84), pp. 74–77. (In Russian).
38. Rogovina S.Z., Aleksanyan K.V., Vladimirov L.V., Berlin A.A. Bidegradable polymer materials based on polyactide. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2019, no. 13 (5), pp. 812–818. doi: 10.1134/S1990793119050099.
39. Goryunova P.E. Termodinamicheskie svoystva sopolimerov na osnove khitozana : dis. ... kand. khim. nauk [Thermodynamic properties of chitosan-based copolymers. Candidate's (Chemistry) Thesis]. Nizhny Novgorod: Natsional'nyy issledovatel'skiy Nizhegorodskiy gosudarstvennyy universitet im. N.I. Lobachevskogo [National Research State University of Nizhny Novgorod named after N.I. Lobachevsky] Publ., 2021, 152 p. (In Russian).
40. Sadunova A.V. Obshchaya kharakteristika bakteriy roda *Bacillus* [General characteristics of bacteria of the genus *Bacillus*]. In: *Studencheskiy nauchnyy forum — 2014 : materialy VI Mezhdunarodnoy studencheskoy elektronnoy nauchnoy konferentsii (g. Penza, 15*

- fevralya – 31 marta 2014 g.) [*Student research forum – 2014. Proceedings of the 6th International Student Research Online Conference (Penza, 15 February – 31 March 2014)*]. Penza: Akademiya estestvoznaniya [Natural Science Academy], 2014, 66 p. Available at: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014001198> (accessed 19.12.2022). (In Russian).
41. Golozubova Yu.S., Buzoleva L.S., Bogatyrenko E.A., Kim A.V., Eskova A.I. Nefteokislyayushchie svoystva bakteriy roda *Micrococcus*, vydelennykh iz bukhty Nakhodka zaliva Petra Velikogo (Yaponskoe more) [Oil-oxidation properties of *Micrococcus* bacteria isolated from the Nakhodka Bay seawater of the Sea of Japan]. *Samarskiy nauchnyy vestnik [Samara Journal of Science]*, 2018, vol. 7, no. 2 (23), pp. 13–16. (In Russian).
42. Pletnev S.P. Paleookeanologiya Yaponskogo morya na rannem etape razvitiya [Paleoceanology of the Sea of Japan at early stage of evolution]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana [Geology and Mineral Resources of World Ocean]*, 2015, no. 2 (40), pp. 159–169. (In Russian).
43. Biopreparaty — destruktory nefi i nefteproduktov [Biodegraders of oil and oil products]. In: *Tsentr nezavisimoy ekspertizy sostoyaniya zelenykh nasazhdeniy : ofitsial'nyy veb-sayt [Center of independent expert assessment of urban green spaces. Official website]*, 2012. Available at: <https://vitusltd.ru/blog/rekultivaciya/4299> (accessed 07.06.2020) (In Russian).

Поступила 28.12.2022

Принята к печати 28.02.2023