

## О перспективах применения полимерных материалов для сорбентов предназначенных для очистки воды от нефтепродуктов.

Алексей М. Толстов<sup>1</sup> [tolstovalex2029@gmail.ru](mailto:tolstovalex2029@gmail.ru)  0000-0003-2266-9613  
Юлия А. Наумова<sup>1</sup> [naumova\\_yulia@mail.ru](mailto:naumova_yulia@mail.ru)  0000-0001-9968-8244

<sup>1</sup> Российский технологический университет, пр-т Вернадского, 78, г. Москва, 119454, Россия

**Аннотация.** Экологическая безопасность занимает важнейшее место при добычи полезных ископаемых таких как нефть. Оптимальным решением при возникновении внештатных ситуаций на производстве и разливах углеводородов является использование механического способа ликвидации с применением специальных сорбентов. Эволюция нефтесорбирующих материалов на сегодня не имеет точной классификации. Условно их можно разделить на неорганические, природные и синтетические. Эффективность применения зависит от нефтесорбирующей емкости, многократности применения, гидрофобности и олеофильности, а также отсутствия токсичности при эксплуатации. Современные технологии позволили создавать сорбенты на основе вспененных полимерных материалов, способных перекачивать тонны нефти при весе 1 кг. За последние 10 лет авторы посвятили изучению модификации вспененных полимерных для создания супергидрофобных/суперолефиновых сорбентов. Однако, многие работы так и не вышли за рамки лаборатории, в виду сложности и дороговизны продукта. Цель данной статьи выявить наиболее перспективный класс полимерных материалов с эффективными нефтесорбирующими свойствами. Сравнительный анализ представленный в работе дает обоснования выбора в качестве нефтесорбирующего вспененного материала неполярных полимеров. Благодаря природной гидрофобности и олеофильности, эластичности, доступности сырья на отечественном рынке, дает потенциал развития в этом направлении. Не изученными остаются свойства вспененных полимерных материалов на основе этилен-пропилен-диеновых каучуков, обладающих, по мимо прочего, атмосферостойкостью, широким температурным диапазоном применения, что важно для эксплуатации в условиях крайнего севера или экваториальных морей, где многие другие полимеры теряют свои способности эффективно собирать разливы, высоконаполняемостью при производстве смеси, позволяющую модифицировать состав. К положительным фактам добавляется достаточно хорошо изученная технология вспенивания открытопористых полимерных материалов на основе неполярных эластомеров.

**Ключевые слова:** нефтесорбирующие свойства, нефтяные разливы, неполярный полимер, открытая пора, гидрофобность, олеофильность, этилен-пропилен-диеновый каучук.

## On the prospects for the use of polymeric materials for sorbents intended for water purification from oil products

Aleksey M. Tolstov<sup>1</sup> [tolstovalex2029@gmail.ru](mailto:tolstovalex2029@gmail.ru)  0000-0003-2266-9613  
Yulia A. Naumova<sup>1</sup> [naumova\\_yulia@mail.ru](mailto:naumova_yulia@mail.ru)  0000-0001-9968-8244

<sup>1</sup> Russian Technological University, Vernadsky Av., 78 Moscow, 119454, Russia

**Abstract.** Environmental safety occupies a major place in the extraction of minerals such as crude oil. The optimal outcome in the event of emergency situations during the production and spill of hydrocarbons is the use of mechanical frequent discharge using special sorbents. The evolution of oil-sorbing materials today does not have such filtration. Conventionally, they can be divided into inorganic, natural and synthetic. Efficiency depends on the use of oil-absorbing capacity, variety of applications, hydrophobicity and oleophilicity, as well as mandatory toxicity during operation. Modern technologies create sorbents based on foamed polymeric materials capable of pumping tons of oil by weight of 1 kg. Over the past 10 years, the authors have devoted to research to the modification of foamed polymeric materials to create superhydrophobic/superolefin sorbents. However, many works did not go beyond the laboratory, due to the complexity and high cost of the product. The purpose of this article is to identify the most promising polymeric materials with effective classes of oil-sorbing properties. A comparative analysis is presented in the paper justifying the choice of the quality of oil-absorbing foam material of non-polar polymers. Due to the natural hydrophobicity and oleophilicity, elasticity, availability of Russian offers on the market, there are opportunities for the development of this direction. The properties not explored of foamed polymeric materials based on ethylene-propylene-diene rubbers, which, among other things, have weather resistance, a wide temperature range of application, which is important for operation in the Far North or equatorial seas, where many other polymers lose their ability to effectively collect spills, high ability to fill up in the production of the mixture, which allows modifying the composition. A well-studied technology for foaming open-cell polymeric materials based on non-polar elastomers is added to the positive facts.

**Keywords:** oil-sorption, raw oil, non-polar polymer, open-cell, hydrophobicity, oleophilicity, ethylene-propylene-diene rubber.

Для цитирования

Толстов А.М., Наумова Ю.А. О перспективах применения полимерных материалов для сорбентов предназначенных для очистки воды от нефтепродуктов. // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 240–248. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-240-248

For citation

Tolstov A.M., Naumova Yu.A. On the prospects for the use of polymeric materials for sorbents intended for water purification from oil products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 240–248. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-240-248

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Проблема борьбы с нефтеразливами имеет стратегическое значение для экологической безопасности нашей планеты. Неуклонный рост исследований и разработок, направленных на эффективную ликвидацию нефтеразливов с поверхности воды, свидетельствует об ее актуальности несмотря на текущие достижения [1–4].

За последний век в результате добычи, транспортировки и переработки нефти произошли масштабные для всего мира катастрофы, последствия которых необратимо погубили целые экосистемы во многих регионах планеты. В 2010 году на морской нефтедобывающей платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе произошел взрыв, вслед за ним начался пожар, устье скважины разгерметизировалось, и неукротимый фонтан нефти забил в море. В воды залива, по первым оценкам, стало поступать 5–19 тыс. баррелей нефти в сутки [5].

Существенным источником загрязнения окружающей среды помимо разливов нефтепродуктов считаются неочищенные или частично очищенные производственные сточные воды предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, металлургической, химической и других видов промышленности. Также значительное количество нефтепродуктов попадает в водные объекты с прилегающих промышленных территорий во время дождей и снеготаяния. В сточных водах нефтепродукты могут находиться в свободном и связанном состояниях [6].

Представители Международной Ассоциации производителей нефти и газа (OGP) называют оптимальным решением ликвидаций нефтеразливов использование механического способа, дополненного последующей доочисткой водоема, что стало одной из ключевых тем 22-ой международной выставки Neftegas – 2023 «Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса».

Одним из способов ликвидации утечки нефти на водной поверхности является ее сбор при помощи специальных сорбентов. На сегодняшний день нет однозначно принятой классификации нефтесорбентов. За последние десятилетия спектр сорбентов, применяемых для борьбы с нефтеразливами, совершенствуется благодаря привлечению инновационных природных, искусственных и синтетических материалов, а также внедрению технических решений, направленных на повышение эффективности сорбентов за счет их дополнительной обработки или модификации.

В связи с многообразием сорбентов по природе происхождения, способу и глубине очистки вод и пр. в определенных условиях использования требуется их классификация.

Автором [7] предоставлена удобная система классификации, особенно для разработчиков новых материалов, обобщающая по нескольким критериям все имеющиеся.

Согласно предложенной классификации сорбенты делятся:

- по виду основы;
- по способу использования;
- по форме;
- по структуре пор;
- по характеру смачивания;
- по плавучести;
- по водопоглощению;
- по нефтеемкости;
- по степени использования;
- по уровню сложности извлечения сорбента;
- по состоянию поверхности;
- по способу модификации;
- по степени утилизации;
- по степени экологичности утилизации отработанного сорбента;
- по степени отжима сорбата.

С точки зрения исследования свойств, разработчики в первую очередь принимают во внимание основу сорбента. Она может быть неорганической (диатомитовые породы, глины, песок, пемза, цеолиты и прочее) и органической природы (древесные опилки, высушенные зерновые продукты, модифицированные торфы, растительные и животного происхождения биодеградируемые продукты, биополимеры, натуральные и синтетические полимеры) [8–10]. Но для организаций, занимающихся ликвидацией последствий разливов, основными выступают технико-экономические параметры [11].

Возможность многократного применения сорбентов в большинстве случаев обеспечивается при выборе полимерных материалов как основы сорбента благодаря комплексу их уникальных свойств. Способность к эластичному восстановлению нефтесорбционной емкости после механических воздействий при отжиме повышает конкурентоспособность даже при более высокой себестоимости продукта [12].

Развитие полимерной индустрии определило эволюционный путь полимерных нефтесорбентов (ПНС) по двум направлениям, связанным с применением в качестве основы продуктов из синтетического и природного сырья. Последние, благодаря своей возобновляемости, способности к экологичной и не затратной утилизации, могут использоваться как индивидуально, так и как добавки к синтетическим полимерам. Известны сорбенты из целлюлозы, получаемой из определенного сорта растения – *Couroupita guianensis* [13],

с сорбционной емкостью до 15 г./г сырой нефти с возможностью повторного использования после экстракции сорбата. В качестве добавок к синтетическим полимерам применяют: хитозан, метилцеллюлозу, желатин и другие [14]. К примеру, состав вспененного полиуретана модифицировали лигнином, повышающим его биodeградацию в естественных условиях и способствующим улучшению нефтесорбирующих свойств [15].

Другая ветвь эволюции связана с использованием синтетических полимерных материалов как основы сорбентов: термопластов, термоэластопластов и каучуков общего и специального назначения.

В качестве известных рассматриваются полимеры разной полярности: от полиолефинов до сополимеров содержащих функциональные группы. На их основе созданы набухающие в органических веществах гели [16, 17], текстильные материалы [18], дисперсные полимерные материалы – продукты вторичной переработки индустрии полимеров [19] и вспененные полимерные материалы [20].

С внедрением технологии вспенивания полимерных композиционных материалов появилась возможность производить нефтесорбенты с высокой сорбционной емкостью при многократном применении [21]. Эффективность таких материалов зависит от направленного сбора нефти и отсутствия параллельного процесса сорбции воды материалом, на которой произошел разлив. Отсутствие качественной селективности вода/нефть увеличивает количество емкостей, предназначенных для хранения и транспортировки отжатой из сорбента органической жидкости. Высокая селективность нефть-вода при сборе разливов полимерным вспененным материалом обеспечивается показателями гидрофобности и олеофильности сорбента. Состав композиции и модификация поверхности вспененного полимерного сорбента позволяет регулировать эти свойства.

Полярные вспененные композиции склонны к гидрофильности, что затрудняет разделение нефти от воды [22], а неполярные полимерные материалы, напротив, гидрофобны. Но с другой стороны, благодаря сродству по неполярности полимера и сорбата, могут быть недостаточно стойкие к набуханию в нефтепродуктах, что может существенно ограничить возможности их применения. Масла и нефть, диффундируя в объем неполярного полимерного материала, ухудшают его физико-механические и технические характеристики, как следствие, уменьшается нефтесорбционная емкость при повторном использовании.

Для повышения эффективности нефтесорбирующей емкости полярных полимерных вспененных сорбентов в работах [23–25] реализована модификация состава композиции или поверхности пористого материала, обеспечивающая повышение скорости сорбции, гидрофобности, олеофильности, и прочности низкоплотных полимерных губчатых материалов.

Для исследователей полярные полимеры, такие как полиуретаны, меламины, полиэтиленвиниловые сополимеры, полисульфидные, кремнийорганические каучуки и прочие, в качестве основы вспененных нефтесорбентов, остаются высоко актуальными материалами для создания эффективного сорбента. Однако производство сорбентов на их основе, осложнено отсутствием исходных компонентов на отечественном рынке, дороговизной сырья и оборудования для их производства, присутствует высокая вероятность возникновения экологических рисков при использовании некоторых из этих материалов [26].

С каждым годом появляются все более совершенные сорбенты, при этом разработчики не забывают о релевантных параметрах, таких как безопасность, цена, доступность. Как результат, ограниченное количество новейших нефтесорбентов выходит на стадию промышленного производства и массового применения, оставляя открытым вопрос о коммерческой рентабельности анонсируемых в научно-технической литературе нефтесорбентов по критериями «цена/качество» [8–10].

Целью данной статьи является обоснованный выбор перспективных полимерных вспененных материалов, обеспечивающих требуемый комплекс технических свойств нефтесорбентов наряду с реализацией эффективных технологий их производства, на основании анализа научно-технической литературы.

### **Материалы и методы**

Говоря о вспененных полимерных нефтесорбентах (ПНС), необходимо уточнить, что ячейки таких материалов являются открытыми, это обеспечивает проникновение жидкости в пространство между стенок ячеек сорбента. Обеспечить открытоячеистую структуру позволяют определенные технологии производства, выбор которых зависит от химической природы полимера. Для большинства эластомеров и термопластов распространены технологии физического и химического вспенивания [27].

Физическое вспенивание создается прямым впрыском газа в расплав полимера, например,

в пресс-форму [28] или экструдер [29, 30]. Таким образом, введенный в систему газ диспергируется в полимерной матрице по всему объему. Химическое вспенивание создается путем введения в полимерную композицию порофоров, разлагающихся с выделением газа в форме под давлением или в печах при атмосферном давлении. Производство полиуретановых пен, связано с наполнением композиций газообразными продуктами, которые выделяются в результате химических реакций компонентов [31].

В момент спуска давления (при открытии пресс-формы или на выходе из головки экструдера) пузырьки газа расширяются – создается вспененная структура материала. При этом, структура, геометрия, форма пор обеспечивается регулированием технологических параметров процесса, таких как температура, время и т. д. и состава композиции полимерного материала.

Для обеспечения эффективной сорбции нефтепродуктов необходимо определенное соотношение во вспененных материалах между открытыми и закрытыми порами. Принято, что 10–20% в структуре вспененного полимерного материала должны занимать закрытые поры, заполненные газом, чтобы обеспечить плавучесть сорбента на поверхности воды, и большая часть структуры является открытой, отвечающая за сорбционную способность [32].

Открытая структура пор во вспененных полимерных материалах может быть создана воздействием на закрытую ячейку механическим путем, например, дроблением или резкой жгутов после выхода полимерного вспененного материала из головки экструдера [33]. Существует другой способ формирования открытоячейной структуры из закрытопористого материала, который применяется для сформованного в виде широкого и толстого полотна монолитного вспененного материала, путем пропуска его через зазор вращающихся навстречу друг другу валов. Такой специфический способ подходит только для высокоэластичных вспененных материалов, имеющих малые остаточные деформации после сжатия. Попадая в заведомо узкий зазор (меньше 10% от толщины заготовки) происходит избыточное давление на стенки закрытой ячейки в материале, которая, не выдерживая нагрузки, разрушается. Для обеспечения необходимой доли открытых пор вспененный материал пропускают определенное количество раз через зазор вращающихся валов, например, специального оборудования Crusher foam, Edge-Sweets Company, USA.

В лабораторной практике существует способ получения вспененного полимерного материала путем создания органогеля из растворенного полимера. Последующая вулканизация и сушка от растворителя обеспечивает получение макропористой структуры материала [24].

Широким промышленным направлением является вспенивание латекса, которое начинается с производства латексной смеси, содержащей вулканизирующие агенты, активаторы, коагулянты. Смесь заливают в специальные миксеры и взбивают с добавлением вспенивающего агента до образования пены. Большое количество поглощаемого при этом воздуха равномерно распределяется в виде небольших пузырьков. Образовавшаяся пена вскоре начинает переходить в гелеобразную массу, тогда ее разливают в формы и вулканизируют при высокой температуре. По завершению готовый пористый материал промывают и сушат в среде теплого воздуха [34].

### Результаты и обсуждение

Современные исследования за последние 10 лет были в целом посвящены модификациям полимерных пористых сорбентов путем введения в композиции специальных ингредиентов, улучшающих их нефтесорбирующие свойства, или обработкой поверхности открытопористых материалов специальными составами.

Для улучшения нефтесорбирующих свойств путем модификации поверхности сорбентов применяются специальные гидрофобные составы, обеспечивающие барьер проникновению полярных жидкостей и, наоборот, способствуют сорбции неполярных органических веществ. Также обработка поверхности специальными составами придает пористому материалу защиту от набухания или растворения в органических жидкостях. В ряде случаев предлагаемые модификаторы поверхности являются токсичными [22] или труднодоступными веществами для реализации промышленного производства сорбентов, процедура модификация предполагает дополнительные технологические операции и использование специального оборудования, что повышает себестоимость конечного продукта.

Учитывая, что вспененный полимерный материал является многокомпонентным по своему составу, с точки зрения крупнотоннажного производства наиболее эффективным решением является проектирование составов композиций, путем модификации полимерной основы или введения целевых компонентов, регулирующих структурные параметры сорбирующего мате-

риала, что не приводит к усложнению технологического процесса производства. При этом в формировании требуемого комплекса свойств могут быть использованы ингредиенты, которые повышают безопасность применения сорбентов: снижая их горючесть за счет введения антипиренов или способствуя биодegradации в естественных условиях путем введения биополимеров, тем самым обеспечивая экологичную и экономичную утилизацию.

Опираясь на результаты по разработкам нефтесорбентов и теоретические предпосылки к созданию полимерным вспененных сорбирующих материалов, обеспечивающих конкурентоспособный уровень технико-экономических показателей изделий, для ПНС наиболее перспективны в качестве основы неполярные полимеры.

Данный класс полимеров, к которым относятся полиэтилены, натуральный и синтетические каучуки (изопреновый, бутадиеновый, бутилкаучук, этилен-пропиленовый и др.) обладают сродством к нефтепродуктам, являются доступными и выпускаются отечественными заводами синтетического каучука.

На основании данных [24,35–37], обобщенных в таблице 1, проведен сопоставительный анализ нефтесорбирующих свойств вспененных открытопористых полимерных материалов на основе различных неполярных полимеров, отличающихся показателями плотности сорбента ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Следует отметить, что в таблице 1 сопоставлены ПНС, для которых не предусмотрена дополнительная процедура модификации поверхности. Анализ экспериментальных данных проведен на основании показателей нефтесорбирующей емкости ( $\text{г}/\text{г}$ ) при первой и повторной сорбции в маслах и нефти, объединенных в пределах одного диапазона кинематической вязкости ( $\text{сСТ}$ ), и кратности применения сорбентов. Целью сравнения было определение наиболее перспективного неполярного полимера в качестве основы вспененного открытопористого нефтесорбента.

Из представленных данных видно, что вспененные материалы на основе бутадиенового и бутадиен-стирольного каучуков [35] имеют лучший уровень сорбирующей способности с учетом многократного применения (больше 30 раз) и сохранения показателей нефтесорбирующей емкости на постоянном уровне с каждым последующим применением.

Вспененные материалы на основе бутилкаучука, обладая более высокой плотностью, демонстрируют более низкую сорбирующую способность по сравнению с рассмотренными выше материалами по нефти и маслу. Сопоставляя

данные работ [35, 36], в которых авторы использовали бутилкаучук одной марки, очевидны различия нефтесорбирующей способности материалов при повторных сорбциях нефти. Возможно, это обусловлено отличиями в структуре и свойствах вспененных материалов при условии идентичности используемых образцов нефти при проведении испытаний ПНС на основе полиэтилена, демонстрируя более высокий уровень нефтесорбирующей емкости по маслу по сравнению с материалами на основе бутадиенового и бутадиен-стирольного каучука при большей плотности, обеспечивают существенно меньшую способность к повторному использованию. По результатам 10 – 20 циклов повторного отжатия данный сорбент разрушался, а нефтесорбирующая емкость с каждым последующим циклом снижалась.

Для открытопористого эластомерного материала на основе латекса натурального каучука не приведены данные по изменению нефтесорбирующей емкости при повторном применении, однако многократное применение этого материала доказано. В исследовании указана плотность сорбента  $150 \text{ кг}/\text{м}^3$ , и если обеспечить снижение плотности пористого материала на основе латекса в несколько раз, то, вероятно, можно ожидать повышение сорбирующей способности и приближение данного показателя к материалам на основе бутадиенового и бутадиен-стирольного каучуков.

Таким образом, проведенный анализ вспененных полимерных нефтесорбирующих материалов позволяет рассматривать в качестве перспективных ПНС эластомерные материалы на основе неполярных каучуков – бутадиенового и бутадиен-стирольных каучуков.

Возвращаясь к необходимым положительным свойствам, которыми должен обладать вспененный полимерный нефтесорбент нового поколения, важным параметром является атмосферостойкость. Не все неполярные полимерные материалы способны длительное время сохранять свои физико-механические свойства при длительном контакте с кислородом воздуха, озоном, влагой, морской водой, под действием ультрафиолета в широком температурном диапазоне эксплуатации. Атмосферостойкость определяется полимерной основой и ее можно повысить за счет введения в состав материала специальных стабилизаторов: антиоксидантов, антиозонантов и пр. Насыщенные или малонасыщенные неполярные полимеры обладают атмосферостойкостью, например, полиэтилены, бутилкаучуки, этилен-пропиленовые и этилен-пропилен-диеновые (СКЭПТ) каучуки.

При всем многообразии видов и марок неполярных каучуков, к сожалению, мало внимания уделено эластомерным материалам на основе СКЭПТ для нефтесорбентов. Эти эластомерные материалы, обладая комплексом ценных свойств, необходимых для нефтесорбентов, обладают высокой атмосферостойкостью, широким температурным диапазоном применения, в том числе, морозостойкостью. Достоинством СКЭПТ является способность к высокому наполнению твердыми дисперсными материалами, мягчителями и пластификаторами, при сохранении высокого уровня физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на их основе.

Авторами [39] представлены сравнительные данные по поглощению десяти органических жидкостей вспененным полимерным материалом на основе СКЭПТ после модификации поверхности метилтрихлорсиланом. Основной целью было исследование обработанной поверхности и способности модифицированного сорбента. Авторы не привели данные по нефтесорбирующей способности для исходного, необработанного модификатором материала. Полученные результаты свидетельствуют о перспективах вспененных материалов на основе СКЭПТ для ПНС.

Таблица 1.

Нефтесорбирующая емкость открытопористых полимерных нефтесорбентов на основе неполярных полимеров при первой и повторной сорбции масла и нефти, учитывая кратность применения

Table 1.

Oil-sorbing capacity of open-cell polymeric oil sorbents based on non-polar polymers during the first and repeated sorption of oil and crude oil, taking into account the frequency of use

Полимерная основа вспененного сорбента Polymer base for foamed sorbent	Плотность, кг/м <sup>3</sup> Density, kg/m <sup>3</sup>	Нефтесорбирующая емкость, г/г Oil absorbing capacity, g/g		Количество отжатой органической жидкости после повторной сорбции, г/г сорбента Amount of squeezed out organic liquid after repeated sorption, g/g sorbent	Кратность регенерации, не менее ед. Amount of regeneration, not less than units
		Первая сорбция по маслу First sorption of oil (a)	Первая сорбция по нефти First sorption of crude oil (b)		
ПЭВД   LDPE [37]	15–20	38	Нет данных No data	30–38 по маслу   by oil	10
Латекс НК   latex NR [24]	150	-	8	-	30
Бутил каучук   Butil, [36]	50	8	23	7,6 по нефти   by crude oil	30
Бутил каучук ВР-1   Butil ВР-1, [35]	50	9	23	20 по нефти   by crude oil	25
Бутил каучук ВР-2   Butil ВР-2 [35]	50	9	21	16 по нефти   by crude oil	25
Полибутадиен   СВР [35]	25	23 – 26	35 – 38	35–38 по нефти   by crude oil	25
Бутадиен стирольный каучук   SBR [35]	25	23 – 26	35 – 38	35–38 по нефти   by crude oil	25

Примечание: а – Кинематическая вязкость масла 10–30 сСт при 40 °С; b – Кинематическая вязкость нефти 6–50 сСт при 50 °С

Note: a – Kinematic viscosity of oil 10 – 30 cSt at 40 °C; b – Kinematic viscosity of crude oil 6–50 at 50 °C

### Заключение

Независимо от классификации нефтесорбентов, их основополагающими параметрами являются нефтесорбирующая емкость с возможностью повторного применения. Высокий уровень таких эксплуатационных показателей как нефтесорбирующая емкость, повторное применение, эластичность, прочность, наряду с освоенной технологией производства, позволяют рассматривать вспененные полимерные материалы как перспективный класс материалов для нефтесорбентов. Среди применяемых в настоящее время полимеров несомненный потенциал имеют неполярные каучуки в виду доступности сырья и своей природной гидрофобности и олеофильности.

Анализирую представленные в работе материалы можно отметить, что недостаточно изученными остаются ПНС на основе этиленпропиленовых каучуков, обладающих перспективным комплексом технических показателей. В связи с этим дальнейшая экспериментальная работа будет направлена на разработку составов композиций на основе СКЭПТ и технологии производства открытопористых нефтесорбирующих материалов, обладающих улучшенным комплексом показателей по сравнению с достигнутыми на сегодняшний день результатами.

### Благодарность

Автор выражает благодарность своим коллегам и руководителям международного технологического холдинга «Gavary group» за техническую поддержку в написании статьи.

## Литература

- 1 Алешин И.В., Гончаров В.К., Зуева Е.С., Гетман В.Э. Борьба с аварийными разливами нефти в замерзающих морях России // *Морские интеллектуальные технологии*. 2019. № 3–2(45). С. 18–24.
- 2 Пат. № 2788206, RU, E02B 15/00, 15/04. Устройство для очистки водной поверхности / Потетюрин М.А., Катин В.Д. № 2022111662; Заявл. 27.04.2022; Опубл. 17.01.2023.
- 3 Ольшанская Л.Н., Татаринцева Е.А. Сорбенты для очистки поверхностных и сточных вод от нефти и продуктов её переработки // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 4. С. 6–11. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-006-011
- 4 Аминова Э.С., Дмитриев Д.В., Семенов В.М. Природный сорбент для очистки от нефтезагрязнений // *Нефть. Газ. Новации*. 2022. № 6(259). С. 84–87.
- 5 Аллан С.Э., Смит Б.В., Андерсон К.А. Воздействие разлива нефти из глубоководного горизонта на биодоступные полициклические ароматические углеводороды в прибрежных водах Мексиканского залива // *Технологии экологических наук*. 2012. Т. 46. № 4. С. 2033–2039. doi: 10.1021/es202942q
- 6 Воронов А.А., Малышкина Е.С., Фугаева А.М. Сбор и очистка поверхностных сточных вод с производственных площадок нефтепромыслов // *Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов*. Тюмень: ТИУ, 2018. Т. 1. С. 144–146.
- 7 Малышкина Е.С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов // *Градостроительство и архитектура*. 2020. Т. 10. № 3. С. 26–34. doi: 10.17673/Vestnik.2020.03.
- 8 Байбурдов Т.А., Шмаков С.Л. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор англоязычной литературы за 2000–2017 гг. (часть 1) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 1. С. 36–44. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-36-44
- 9 Байбурдов Т.А., Шмаков С.Л. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор англоязычной литературы за 2000–2017 гг. (часть 2) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 2. С. 145–153. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-145-153
- 10 Байбурдов Т.А., Шиповская А.Б. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор русскоязычной литературы за 2000–2017 гг. (часть 3) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 3. С. 285–298. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-285-298
- 11 Каменшиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. Москва – Ижевск, 2005. 268 с.
- 12 Кахраманлы Ю.Н. Пенополимерные нефтяные сорбенты. Экологические проблемы и их решения. Баку: «ЭЛМ», 2012. 305 с.
- 13 Cunha S.R.S., Souza Jr F.G. Adsorbent biopolymers based on *Couroupita guianensis* // *Abstracts of International Conferences & Meetings*. 2021. V. 1. № 2. P. 4-4. doi: 10.5281/zenodo.4876594
- 14 Kuen T.K.A., Zenitova L.A. Chitosan-containing polyurethane foams as oil spill absorbers // *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology*. 2019. № 2. P. 7–21. doi: 10.15593/2224-9400/2019.2.01
- 15 Hwang U., Lee B., Oh B., Su Shin H. et al. Hydrophobic lignin/polyurethane composite foam: An eco-friendly and easily reusable oil sorbent // *European Polymer Journal*. 2022. V. 165. doi:10.1016/j.eurpolymj.2021.110971
- 16 Zhou M.H., Cho W.J. Oil absorbents based on styrenebutadiene rubber // *J. Appl. Polym. Sci.* 2003. V. 89. № 7. P. 1818–1824. doi:10.1002/app.12252
- 17 Keshawy M., El-Moghny T.A., Abdul-Raheim A.–R.M., Kabel K.I. et al. Synthesis and characterization of oil sorbent based on Hydroxypropyl Cellulose Acrylate // *Egyptian Journal of Petroleum*. 2013. V. 22. № 4. doi:10.1016/j.ejpe.2013.11.008
- 18 Zhang H., Zhen Q., Cui J.-Q., Liu R.-T. et al. Groove-shaped polypropylene/polyester micro/nanofibrous nonwoven with enhanced oil wetting capability for high oil/water separation // *Polymer*. 2020. P. 122356. doi:10.1016/j.polymer.2020.122356
- 19 Lin C., Huang C.L., Shern C.C. Recycling waste tire powder for the recovery of oil spills // *Resources. Conservation and Recycling*. 2008. V. 52. № 10. P. 1162–1166.
- 20 Клемпнер Д., Сендиджаревич В. Полимерные пены и технология вспенивания. Москва: Профессия, 2009. 604 с.
- 21 Узденский В.Б., Модификация полимерных материалов. Практическое руководство для технолога; 2-е издание. Санкт-Петербург: «ЦОП Профессия», 2020.
- 22 Hailan S.M., Ponnamma D., Krupa I. The Separation of Oil/Water Mixtures by Modified Melamine and Polyurethane Foams: A Review // *Polymers*. 2021. V. 13. P. 4142. doi:10.3390/polym13234142
- 23 Hu Y., Liu X., Zou J., Gu T. et al. Graphite/ Isobutylene-isoprene Rubber Highly Porous Cryogels as New Sorbents for Oil Spills and Organic Liquids // *ACS Appl. Mat. and Interfaces*. 2013. V. 5. № 16. P. 7737–7742.
- 24 Songsaeng S., Thamyongkit P., Poompradub S. Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills // *J. Adv. Res.* 2019. V. 20. P. 79–89. doi: 10.1016/j.jare.2019.05.007
- 25 Lu Y., Li S., Chen F., Ma H. et al. Development of coin-shaped ZIF 7 functionalized superhydrophobic polysulfone composite foams for continuous removal of oily contaminants from water // *Journal of Hazardous Materials*. 2022. V 421. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126788
- 26 Синицына О.О., Печникова И.А., Беляева Н.Н., Мамонов Р.А. и др. Новые сведения о токсичности и опасности химических и биологических веществ. Меламин (1,3,5 – триазино – 2,4,6 – триамин) // *Токсикологический вестник*. 2012. № 4 (115).
- 27 Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 10. С. 54–67.
- 28 Шварц О., Эбелинг Ф.–В., Фурт Б. Переработка пластмасс: подготовка сырья, технологии и оборудование, соединение полимеров, покрытия и отделка. Санкт-Петербург: Профессия, 2008. 315 с.
- 29 Кочуров Д.В., Аракелян А.Г., Паламарчук А.А., Шишакина О.А. Физические вспенивающие агенты в производстве современных пеноматериалов // *Международный студенческий научный вестник*. 2018. № 6. С. 86.

- 30 Раувендааль К. Основы экструзии. Москва: ЦОП Профессия, 2021.
- 31 Дмитриенко С.Г., Апяри В.В. Пенополиуретаны. Сорбционные свойства и применение в химическом анализе. Красанд, 2009.
- 32 Бакирова И.Н., Зенитова Л.А. Газонаполненные полимеры: учебное пособие. Казань: Изд-во Казан.гос. технол. ун-та, 2009. 105 с.
- 33 Кахраманлы Ю.Н., Юзбашева Л.Н., Фараджев Г.М. Пенополиуретан – сорбент для очистки водных поверхностей от нефти и нефтепродуктов // Азербайджанский химический журнал. 2011. № 2.
- 34 Аверко-Антонович, Р.Я. Омельченко, Н.А. Охотина, Ю.Р. Эбич Технология резиновых изделий: учеб. пособие для вузов. Л.: Химия, 1991. 352 с.
- 35 Karakutuk I., Okay O. Macroporous rubber gels as reusable sorbents for the removal of oil from surface waters // Reactive and Functional Polymers. 2010. V. 70. № 9. P. 585-595. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2010.05.015.
- 36 Ceylan D., Dogu S., Karacik B., Yakan S.D. Evaluation of butyl rubber as sorbent material for the removal of oil and polycyclic aromatic hydrocarbons from seawater // Env. Sci. Technol. 2009. V. 43. № 10. P. 3846–3852.
- 37 Lopez-Gonzalez E., Saiz-Arroyo C., Rodriguez-Perez M.A. Low-density open-cell flexible polyolefin foams as efficient materials for oil absorption: influence of tortuosity on oil absorption // International Journal of Environmental Science and Technology. 2020. V. 17. P. 1663-1674. doi: 10.1007/s13762–019–02576–0
- 38 Wypych G. Handbook of polymers. Elsevier, 2022.
- 39 Liu H., Kang Y. Superhydrophobic and superoleophilic modified EPDM foam rubber fabricated by a facile approach for oil/water separation // Applied Surface Science. 2018. V. 451. P. 223-231. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.04.179.

### References

- 1 Aleshin I.V., Goncharov V.K., Zueva E.S., Hetman V.E. Fight against emergency oil spills in the freezing seas of Russia. Marine intelligent technologies. 2019. no. 3-2(45). pp. 18-24. (in Russian).
- 2 Potetyurin M.A., Katin V.D. Device for cleaning the water surface. Patent RF, no. 2788206, 2023.
- 3 Olshanskaya L.N., Tatarintseva E.A. Sorbents for cleaning surface and wastewater from oil and its products. Theoretical and applied ecology. 2021. no. 4. pp. 6-11. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-006-011 (in Russian).
- 4 Amineva E.S., Dmitriev D.V., Semenov V.M. Natural sorbent for purification from oil pollution. Oil. Gas. Innovations. 2022. no. 6(259). pp. 84-87. (in Russian).
- 5 Allan S.E., Smith B.V., Anderson K.A. The impact of an oil spill from the deepwater horizon on bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal waters of the Gulf of Mexico. Technologies of environmental sciences. 2012. vol. 46. no. 4. pp. 2033-2039. doi: 10.1021/es202942q (in Russian).
- 6 Voronov A.A., Malyshkina E.S., Fugaeva A.M. Collection and purification of surface wastewater from production sites of oil fields. Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex: materials of the International scientific and practical conference of students, postgraduates, young scientists and specialists. Tyumen, TIU, 2018. vol. 1. pp. 144-146. (in Russian).
- 7 Malyshkina E.S. Classification of sorbents used in wastewater treatment technologies from petroleum products. Urban planning and architecture. 2020. vol. 10. no. 3. pp. 26-34. doi: 10.17673/Vestnik.2020.03 (in Russian).
- 8 Bayburdov T.A., Shmakov S.L. Polymer sorbents for collecting petroleum products from the surface of reservoirs: a review of English-language literature for 2000-2017 (part 1). Izvestiya Saratov University. A new series. Chemistry series. Biology. Ecology. 2018. vol. 18. no. 1. pp. 36-44. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-36-44 (in Russian).
- 9 Bayburdov T.A., Shmakov S.L. Polymer sorbents for collecting petroleum products from the surface of reservoirs: a review of English-language literature for 2000-2017 (part 2). Izvestiya Saratov University. A new series. Chemistry series. Biology. Ecology. 2018. vol. 18. no. 2. pp. 145-153. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-145-153 (in Russian).
- 10 Bayburdov T.A., Shipovskaya A.B. Polymer sorbents for collecting petroleum products from the surface of reservoirs: a review of Russian-language literature for 2000-2017 (part 3). Izvestiya Saratov University. A new series. Chemistry series. Biology. Ecology. 2018. vol. 18. no. 3. pp. 285-298. doi: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-285-298 (in Russian).
- 11 Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. Oil sorbents. Moscow – Izhevsk, 2005. 268 p. (in Russian).
- 12 Kahramanli Yu.N. Foam polymer oil sorbents. Environmental problems and their solutions. Baku, "Elm", 2012. 305 p. (in Russian).
- 13 Cunha S.R.S., Souza Jr F.G. Adsorbent biopolymers based on Couroupita guianensis. Abstracts of International Conferences & Meetings. 2021. vol. 1. no. 2. p. 4-4. doi: 10.5281/zenodo.4876594
- 14 Kuen T.K.A., Zenitova L.A. Chitosan-containing polyurethane foams as oil spill absorbers. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology. 2019. no. 2. pp. 7–21. doi: 10.15593/2224–9400/2019.2.01
- 15 Hwang U., Lee B., Oh B., Su Shin H. et al. Hydrophobic lignin/polyurethane composite foam: An eco-friendly and easily reusable oil sorbent. European Polymer Journal. 2022. vol. 165. doi:10.1016/j.eurpolymj.2021.110971
- 16 Zhou M.H., Cho W.J. Oil absorbents based on styrenebutadiene rubber. J. Appl. Polym. Sci. 2003. vol. 89. no. 7. pp. 1818–1824. doi:10.1002/app.12252
- 17 Keshawy M., El-Moghny T.A., Abdul-Raheim A.-R.M., Kabel K.I. et al. Synthesis and characterization of oil sorbent based on Hydroxypropyl Cellulose Acrylate. Egyptian Journal of Petroleum. 2013. vol. 22. no. 4. doi:10.1016/j.ejpe.2013.11.008
- 18 Zhang H., Zhen Q., Cui J.-Q., Liu R.-T. et al. Groove-shaped polypropylene/polyester micro/nanofibrous nonwoven with enhanced oil wetting capability for high oil/water separation. Polymer. 2020. pp. 122356. doi:10.1016/j.polymer.2020.122356
- 19 Lin C., Huang C.L., Shern C.C. Recycling waste tire powder for the recovery of oil spills. Resources. Conservation and Recycling. 2008. vol. 52. no. 10. pp. 1162–1166.
- 20 Klempner D., Sendidzharevich V. Polymer foams and foaming technology. Moscow, Profession, 2009. 604 p. (in Russian).
- 21 Uzdensky V.B., Modification of polymer materials. Practical guide for a technologist; 2nd edition. St. Petersburg, "PSC Profession", 2020. (in Russian).

- 22 Hailan S.M., Ponnamma D., Krupa I. The Separation of Oil/Water Mixtures by Modified Melamine and Polyurethane Foams: A Review. *Polymers*. 2021. vol. 13. pp. 4142. doi:10.3390/polym13234142
- 23 Hu Y., Liu X., Zou J., Gu T. et al. Graphite/ Isobutylene-isoprene Rubber Highly Porous Cryogels as New Sorbents for Oil Spills and Organic Liquids. *ACS Appl. Mat. and Interfaces*. 2013. vol. 5. no. 16. pp. 7737–7742.
- 24 Songsaeng S., Thamyongkit P., Poompradub S. Natural rubber/reduced-graphene oxide composite materials: Morphological and oil adsorption properties for treatment of oil spills. *J. Adv. Res.* 2019. vol. 20. pp. 79–89. doi: 10.1016/j.jare.2019.05.007
- 25 Lu Y., Li S., Chen F., Ma H. et al. Development of coin-shaped ZIF 7 functionalized superhydrophobic polysulfone composite foams for continuous removal of oily contaminants from water. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. vol. 421. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126788
- 26 Sinityna O.O., Pechnikova I.A., Belyaeva N.N., Mamonov R.A., etc. New information about the toxicity and danger of chemical and biological substances. Melamine (1,3,5 – triazino – 2,4,6 – triamine). *Toxicological Bulletin*. 2012. no. 4 (115). (in Russian).
- 27 Kolosova A.S., Pikalov E.S. Modern gas-filled polymer materials and products. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2020. no. 10. pp. 54-67. (in Russian).
- 28 Schwartz O., Ebeling F.-V., Furt B. *Plastics processing: preparation of raw materials, technologies and equipment, polymer bonding, coatings and finishing*. Saint Petersburg, Profession, 2008. 315 p. (in Russian).
- 29 Kochurov D.V., Arakelyan A.G., Palamarchuk A.A., Shishakina O.A. Physical foaming agents in the production of modern foam materials. *International Student Scientific Bulletin*. 2018. no. 6. pp. 86. (in Russian).
- 30 Rauvendaal K. *The basics of extrusion*. Moscow, PSC Profession, 2021. (in Russian).
- 31 Dmitrienko S.G., Apyari V.V. *Polyurethane foams. Sorption properties and application in chemical analysis*. Krasand, 2009. (in Russian).
- 32 Bakirova I.N., Zenitova L.A. *Gas-filled polymers: a textbook*. Kazan, Kazan Publishing House.state technol. un-ta, 2009. 105 p. (in Russian).
- 33 Kahramanli Yu.N., Yuzbasheva L.N., Farajev G.M. Polyurethane foam – sorbent for cleaning water surfaces from oil and petroleum products. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2011. no. 2. (in Russian).
- 34 Averko-Antonovich, R.Ya. Omelchenko, N.A. Okhotina, Yu.R. *Ebich Technology of rubber products: textbook. handbook for universities*. L.: Chemistry, 1991. 352 p. (in Russian).
- 35 Karakutuk I., Okay O. Macroporous rubber gels as reusable sorbents for the removal of oil from surface waters. *Reactive and Functional Polymers*. 2010. vol. 70. no. 9. pp. 585-595. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2010.05.015.
- 36 Ceylan D., Dogu S., Karacik B., Yakan S.D. Evaluation of butyl rubber as sorbent material for the removal of oil and polycyclic aromatic hydrocarbons from seawater. *Env. Sci. Technol.* 2009. vol. 43. no. 10. pp. 3846–3852.
- 37 Lopez-Gonzalez E., Saiz-Arroyo C., Rodriguez-Perez M.A. Low-density open-cell flexible polyolefin foams as efficient materials for oil absorption: influence of tortuosity on oil absorption. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020. vol. 17. pp. 1663-1674. doi: 10.1007/s13762–019–02576–0
- 38 Wypych G. *Handbook of polymers*. Elsevier, 2022.
- 39 Liu H., Kang Y. Superhydrophobic and superoleophilic modified EPDM foam rubber fabricated by a facile approach for oil/water separation. *Applied Surface Science*. 2018. vol. 451. pp. 223-231. doi: 10.1016/j.apsusc.2018.04.179.

#### Сведения об авторах

**Алексей М. Толстов** аспирант, кафедра химии и технологии переработки эластомеров имени Кошелева Ф.Ф., Институт тонких химических технологий имени М.В.Ломоносова, Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, пр-т Вернадского, 78, г. Москва, 119454, Россия, [tolstovalex2029@gmail.ru](mailto:tolstovalex2029@gmail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-2266-9613>

**Юлия А. Наумова** д.т.н., профессор, кафедра химии и технологии переработки эластомеров имени Кошелева Ф.Ф., Институт тонких химических технологий имени М.В.Ломоносова, Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, пр-т Вернадского, 78, г. Москва, 119454, Россия, [naumova\\_yulia@mail.ru](mailto:naumova_yulia@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0001-9968-8244>

#### Вклад авторов

**Алексей М. Толстов** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

**Юлия А. Наумова** консультация в ходе исследования

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Aleksey M. Tolstov** graduate student, F.F. Koshelev department of chemistry and technology of elastomer processing, Elastomer Processing, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological, Vernadsky Av., 78 Moscow, 119454, Russia, [tolstovalex2029@gmail.ru](mailto:tolstovalex2029@gmail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0003-2266-9613>

**Yulia A. Naumova** Dr. Sci. (Chem.), professor, F.F. Koshelev department of chemistry and technology of elastomer processing, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological, Vernadsky Av., 78 Moscow, 119454, Russia, [naumova\\_yulia@mail.ru](mailto:naumova_yulia@mail.ru)

 <https://orcid.org/0000-0001-9968-8244>

#### Contribution

**Aleksey M. Tolstov** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Yulia A. Naumova** consultation during the study

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

<b>Поступила</b> 29/12/2022	<b>После редакции</b> 30/01/2023	<b>Принята в печать</b> 22/02/2023
<b>Received</b> 29/12/2022	<b>Accepted in revised</b> 30/01/2023	<b>Accepted</b> 22/02/2023