

УДК 504.05:665.63; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-1.13>

<https://orcid.org/0000-0002-6913-1549>

<https://orcid.org/0000-0003-3675-7526>

<https://orcid.org/0000-0003-4710-4045>

<https://orcid.org/0009-0005-6206-6093>

<https://orcid.org/0000-0002-5722-342X>

ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТОВ ДЛЯ СБОРА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ



Д.А. БАЙСЕЙТОВ¹,
Ph.D,
старший преподаватель,
dauren_b91@mail.ru



А.С. АХИНЖАНОВА²,
докторант,
aigeriminvictus@gmail.com



Е.А. АККАЗИН¹,
кандидат химических наук,
старший преподаватель,
erzhan_akkazin@mail.ru

О.М. ЧЕРНЯВСКАЯ³, кандидат педагогических наук, ассоц. профессор,
chernyavskaya_ol@mail.ru

Г.М. ИЗТЛЕУОВ⁴, кандидат химических наук, профессор, gani5@mail.ru

¹КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АБАЯ,
Республика Казахстан, Алматы, 050000, пр. Достык, 13

²КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ,
Республика Казахстан, Алматы, 050040, пр. аль-Фараби, 71

³КОСТАНАЙСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. БАЙТУРСЫНОВА,
Республика Казахстан, Костанай, 110000, ул. А. Байтурсынова, 42

⁴ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.АУЭЗОВА,
Республика Казахстан, Шымкент, 160000, пр. Тауке хана, 5

Установлены основные закономерности очистки нефтесодержащих вод с помощью сорбционных материалов на основе растительного и техногенного сырья (подсолнечная шелуха, рисовая шелуха, пенополистирол и рисовая шелуха), определяющих возможность эффективного использования их карбонизатов в процессах очистки воды от нефтепродуктов.

Установлено, что материалам на основе карбонизатов подсолнечной шелухи и рисовой шелухи характерен процесс поглощения нефти и нефтепродуктов всем объемом. В

результате проведенных исследований получен оптимальный углеродно-полистирольный сорбент (21 % рисовая шелуха, 79 % пенополистирол), имеющий высокую нефтеемкость по количеству собранной нефти при 0 °С.

Разработана технологическая система локальной очистки сточных вод нефтехимических производств с использованием сорбционных материалов, полученных при термохимической утилизации отходов растительного происхождения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сорбенты, карбонизация, рисовая шелуха, подсолнечная шелуха, пенополистирол.

СУ БЕТІНДЕГІ МҰНАЙ МЕН МҰНАЙ ӨНІМДЕРІН ЖИНАП АЛУ ҮШІН СОРБЕНТТЕРДІ АЛУ

Д.А. БАЙСЕЙТОВ¹, Ph.D, аға оқытушы, dauren_b91@mail.ru

А.С. АХИНЖАНОВА², докторант, aigeriminvictus@gmail.com

Е.А. АККАЗИН¹, х.ф.к., аға оқытушы, erzhan_akkazin@mail.ru

О.М. ЧЕРНЯЕВСКАЯ³, п.ф.к., қауымдастырылған профессор, chernyavskaya_ol@mail.ru

Г.М. ИЗТЛЕУОВ⁴, х.ф.к., профессор, gani5@mail.ru

¹АБАЙ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, Алматы, 050000, Достық даңғылы, 13

²ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, Алматы, 050040, әл-Фараби даңғылы, 71

³А.БАЙТҰРСЫНОВ АТЫНДАҒЫ ҚОСТАНАЙ АЙМАҚТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, Қостанай, 110000, А.Байтұрсынов көшесі, 42

⁴М.ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК-ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, Шымкент, 160000, Тәуке хан даңғылы, 5

Мұнай өнімдерінен суды тазарту процесінде олардың карбонизаттарын тиімді пайдалану мүмкіндігін анықтайтын өсімдік және техногендік шикізат (күнбағыс қауызы, күріш қауызы, пенополистирол және күріш қауызы) негізіндегі сорбциялық материалдардың көмегімен құрамында мұнай бар суларды тазартудың негізгі заңдылықтары анықталды.

Күнбағыс қауызы мен күріш қауызының карбонизаттарына негізделген материалдар мұнай мен мұнай өнімдерін бүкіл көлемде сіңіру процесімен сипатталатыны анықталды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде 0 °С кезінде жиналған мұнай мөлшері бойынша жоғары мұнай сыйымдылығы бар оңтайлы көміртекті-полистирол сорбенті (21 % күріш қауызы, 79% пенополистирол) алынды.

Өсімдік тектес қалдықтарды термохимиялық кәдеге жарату кезінде алынған сорбциялық материалдарды пайдалана отырып, мұнай-химия өндірістерінің сарқынды суларын жергілікті тазартудың технологиялық жүйесі әзірленді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: сорбенттер, карбонизация, күріш қауызы, күнбағыс қауызы, пенополистирол.

OBTAINING SORBENTS FOR COLLECTING OIL AND OIL PRODUCTS ON THE WATER SURFACE

D. A. BAISEITOV¹, Ph.D, senior lecturer, dauren_b91@mail.ru

A.S. AKHINZHANOVA², PhD student, aigeriminvictus@gmail.com

E.A. AKKAZIN¹, Candidate of chemical sciences, senior lecturer, erzhan_akkazin@mail.ru

O.M. CHERNYAVSKAYA³, Candidate of pedagogical sciences, associate professor, *chernyavskaya_ol@mail.ru*

G.M. IZTLEUOV⁴, Candidate of chemical sciences, professor, *gani5@mail.ru*

¹ABAI KAZAKH NATIONAL PEDAGOGICAL UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, Almaty, 050000, Dostyk ave., 13

²AL FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, Almaty, 050040, al Farabi ave., 71

³KOSTANAY REGIONAL UNIVERSITY NAMED AFTER A. BAITURSYNOV,
Republic of Kazakhstan, Kostanay, 110000, A.Baitursynov str., 42

⁴MUKHTAR AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, Shymkent, 160000, Tauke Khan av., 5

The main patterns of purification of oily waters using sorption materials based on vegetable and man-made raw materials (sunflower husk, rice husk, polystyrene foam and rice husk) have been established, determining the possibility of effective use of their carbonates in the processes of water purification from petroleum products.

It has been established that materials based on carbonates of sunflower husks and rice husks are characterized by the process of absorption of oil and petroleum products by the entire volume. As a result of the conducted research, an optimal carbon-polystyrene sorbent was obtained (21 % rice husk, 79 % expanded polystyrene), which has a high oil capacity in terms of the amount of oil collected at 0 °C.

A technological system for local wastewater treatment of petrochemical industries using sorption materials obtained during thermochemical disposal of waste of plant origin has been developed.

KEY WORDS: sorbents, carbonation, rice husk, sunflower husk, styrofoam.

Введение. В настоящее время загрязнение поверхностных водоемов нефтепродуктами происходит не только при аварийных разливах нефти, но и при проведении регламентных работ, что увеличивает техногенную нагрузку на экосистему.

В рамках стратегии устойчивого развития нефтедобычи в Республике Казахстан очень актуальной на сегодняшний день является проблема загрязнения речных и морских акваторий нефтяными разливами. В связи с тем, что в последние годы активизируется добыча нефти на шельфах Каспийского моря, а, следовательно, и ее транспортировка морскими путями посредством трубопроводов и танкеров, вопросы защиты морских экосистем от нефтяных загрязнений приобретают все большую значимость [1].

Материалы, применяемые для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности водоемов, принято называть нефтяными сорбентами, а также нефтесобирателями и нефтепоглотителями. Одной из основных проблем при очистке поверхности водоемов от загрязнений является удаление тонкой нефтяной пленки, обладающей способностью в кратчайшие сроки распространяться на огромные расстояния, нарушая кислородный обмен. Наиболее перспективным и экологически целесообразным считается способ удаления пленки нефтепродуктов с помощью нефтяных сорбентов [2-4].

Очистка поверхности водоемов от загрязнений включает удаление пленки нефти механическими и (или) физико-химическими способами.

Для производства нефтяных сорбентов применяют разнообразное сырье. По механизму удаления нефти различают сорбенты, для которых доминирует физическая поверхностная сорбция. Здесь сбор нефти происходит за счет адгезии на поверхность частиц сорбента. В этом случае количество поглощаемых нефтепродуктов определяется величиной удельной поверхности материала и ее свойствами (гидрофобностью и олеофильностью). Как показывают литературные данные, такой механизм сбора нефти и нефтепродуктов реализуется для олеофильных порошковых и гранулированных материалов с закрытой пористой структурой и материалов, в которых поры по размеру недоступны для молекул удаляемого вещества [5,6].

Материалы растительного происхождения, накапливающиеся в значительном количестве в виде отходов сельскохозяйственного производства, представляют практический интерес в качестве сырья для получения сорбентов, которые могут использоваться для решения многих экологических задач: очистки сточных вод, газовых выбросов, почв, грунта и т.д. [7-9].

Сорбенты на основе рисовой шелухи обладают уникальной возможностью эффективно сорбировать радионуклиды и тяжелые металлы. В [10] также апробирована сорбция редкоземельных металлов из модельных растворов. В последние годы в качестве нефтесорбента предлагается использовать сорбенты из отходов растительного сырья после его физико-химической обработки.

В настоящее время пористые синтетические органические сорбенты находят широкое применение для сбора нефти и нефтепродуктов, поскольку производятся в промышленных масштабах и часто являются отходами производства. Открытая структура, высокая олеофильность этих материалов обеспечивают эффективность их использования в качестве нефтепоглотителей. Типичными представителями таких сорбентов служат поролон, карбамидные пенопласты, материалы на основе полиуретановой пены и др. [11-13]. Такие материалы способны поглощать порядка 50 г нефти на 1 г сорбента, характеризуются высокой скоростью сорбции, плавучестью после сбора нефти.

Целью данных исследований является получение новых наноструктурированных многофункциональных материалов – селективных сорбентов для сбора нефти и нефтепродуктов на поверхности воды.

Методы и материалы исследований. Исследования были выполнены с рисовой шелухой (РШ), полученной молотьюбой Казахстана́нского риса, выращенного в Кызыл-Ординской области. Процесс карбонизации образцов проводился в изотермических условиях. Модифицирование образцов проводили в реакторе в среде пропан бутана при температуре 300 – 800 °С. Газ подавался со скоростью 100 см³/мин. Температура печи была увеличена линейно от комнатной температуры до заданной температуры пиролиза более чем за 1 ч и далее держалась в заданной температуре 1 – 2 ч. Время выдержки определялось как время пиролиза.

Также в качестве объектов исследования использованы определенные виды растительных источников органических отходов и угля: шелуха подсолнечника, пенополистирол.

Физико-химические характеристики сорбента. Термогравиметрический анализ (ТГА) проводили на приборе STA 449C Jupiter (NETZSCH, Германия) в интервале температур 40 – 1000 °С при свободном доступе воздуха в печное пространство. Скорость подъема температуры составляла 5°С в минуту.

Микроструктуру образцов изучали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на электронном микроскопе Hitachi-SU8010 при ускоряющем напряжении 5кВ.

Идентификация веществ, определение состава и строения комбинации полимерных материалов и угля проводили методом комбинационного рассеяния света на приборе (Раман спектроскопия).

Результаты и обсуждения. Материалы, применяемые для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности водоемов, принято называть нефтяными сорбентами, а также нефтесобирателями и нефтепоглотителями. Одной из основных проблем при очистке поверхности водоемов от загрязнений является удаление тонкой нефтяной пленки, обладающей способностью в кратчайшие сроки распространяться на огромные расстояния, нарушая кислородный обмен. Наиболее перспективным и экологически целесообразным считается способ удаления пленки нефтепродуктов с помощью нефтяных сорбентов [2,3,13].

Синтетические органические сорбенты, благодаря своей доступности и производству в промышленных масштабах, находят все более широкое применение для сбора разлитой нефти. Кроме того, они часто являются отходами производства. Открыто-ячеистая структура и высокая олеофильность этих материалов обеспечивают эффективность их использования в качестве нефтепоглотителей. Хорошо известно применение для этих целей пенополистирола, полипропилена, фенолформальдегидной и карбамидоформальдегидной смолы, каучуковой крошки, материалов на основе полиуретановой пены и др. [14].

Задачей данного исследования было провести исследование некоторых полимерных продуктов (материалов), синтезированных в лабораторных условиях на основе совместной карбонизации с рисовой шелухой.

Для создания нефтяной пленки в лабораторных условиях в чашку Петри наливали ~ 40 мл воды с поваренной солью, на поверхность которой прикапывали несколько капель нефти. По мере образования нефтяного пятна определяли его диаметр и толщину образовавшейся пленки. В лабораторных испытаниях использована нефть месторождения Каражира.

Как видно из *рисунка 1 а*, комбинированный сорбент ППРШ (полипропилен и рисовая шелуха) был залит сверху нефтью, а на *рисунке 1 б* показана сорбция нефти, что свидетельствует об эффективности использования сорбента ППРШ.

Установлены основные закономерности очистки нефтесодержащих вод с помощью сорбционных материалов на основе растительного и техногенного сырья (ПШ – подсолнечная шелуха, РШ – рисовая шелуха, ППРШ – пенополистирол и рисовая шелуха, ПП – полипропилен), определяющих возможность эффективно использования их карбонизатов в процессах очистки воды от нефтепродуктов.

Была исследована зависимость сорбционной способности полученных сорбентов от количества сорбента, времени сорбции, возраста и толщины нефтяной пленки, а также числа циклов использования сорбента.

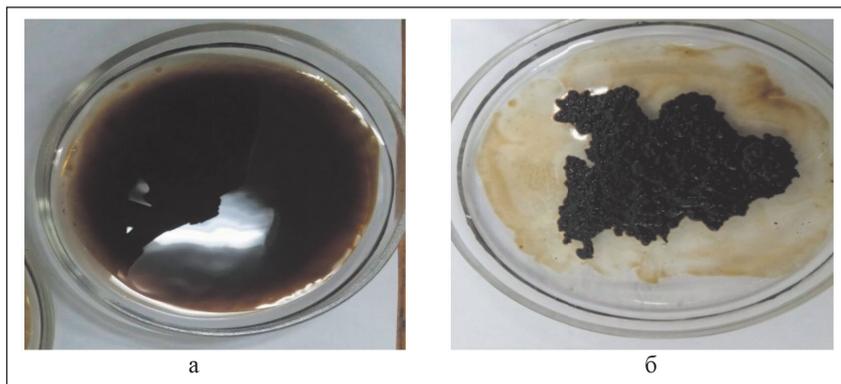


Рисунок 1 – Сорбция нефти, а – образец комбинированного сорбента ППРШ с залитой сверху нефтью; б – сорбция нефти с комбинированным сорбентом ППРШ

На *рисунке 2* представлена зависимость сорбционной способности сорбентов от времени сорбции. Как видно из представленных данных, максимальная сорбция нефти осуществляется в первые ее часы (~ 4 часа), после чего сорбент на основе ПП и РШ в течение двух суток способен удерживать сорбированную нефть, тогда как сорбенты на основе ПШ и РШ спустя 4 часа активной сорбции начинают постепенно выпускать ее. Подобное поведение сорбентов может быть связано как с меньшим уровнем гидрофобности и олеофильности сорбентов на основе ПШ и РШ, так и разным строением полученных сорбентов (*рисунком 3*).

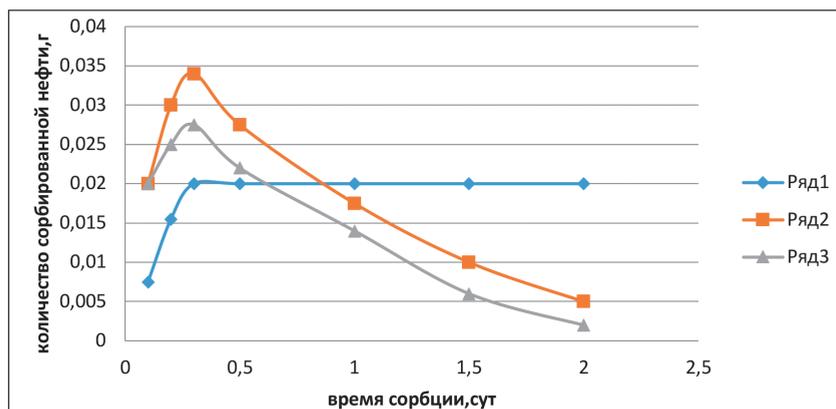


Рисунок 2 – Зависимость сорбционной способности сорбентов от времени сорбции 1 – сорбент на основе ПП и РШ, 2- ПШ, 3- РШ

Как видно из *рисунка 3*, органический материал на основе ПШ имеет ячеистую структуру.

Эффективность нефтепоглощения зависит от химического средства материала сорбента и поглощаемой жидкости и от структуры органического материала, состоящей из микропор.

Установлено, что поглощение нефти протекает в результате начального быстрого смачивания поверхности сорбента нефтью, затем нефть более медленно

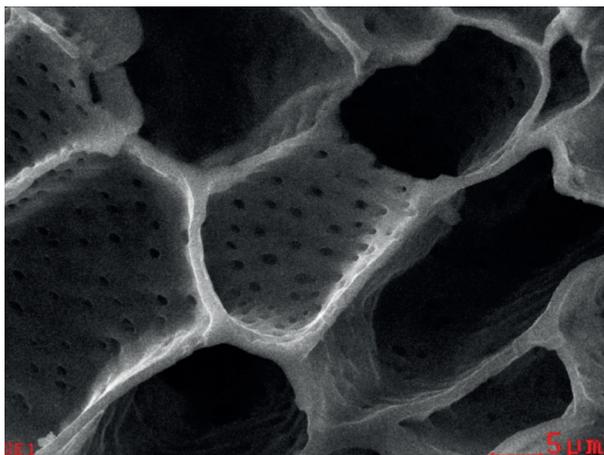


Рисунок 3 – Структура органического материала на основе ПШ

проникает в пористую структуру растительного материала, заполняя все пустоты под действием, в основном, капиллярных сил. Однако с процессом заполнения всех пустот прекращается действие адгезионных сил и происходит выделение в воду сорбированных нефтепродуктов.

На *рисунке 4* представлена зависимость сорбционной способности полученных сорбентов от количества взятого сорбента. С увеличением массы взятого сорбента количество сорбируемой им нефти постепенно растет. После достижения оптимального времени сорбции (4 часа) скорость активной сорбции заметно снижается, что объясняется, по-видимому, насыщением сорбентов нефтью, с одной стороны, и начинающимся процессом десорбции (в случае РШ и ПШ) – с другой.

Была исследована также зависимость сорбционной способности полученных сорбентов от толщины нефтяной пленки (*рисунк 5*). Известно, что максимальная поглотительная способность сорбентов проявляется при избыточном количестве поглощаемого нефтепродукта. При контакте твердых олеофильных частиц с толстой пленкой нефти вокруг них образуются мицеллы, взаимодействующие между собой

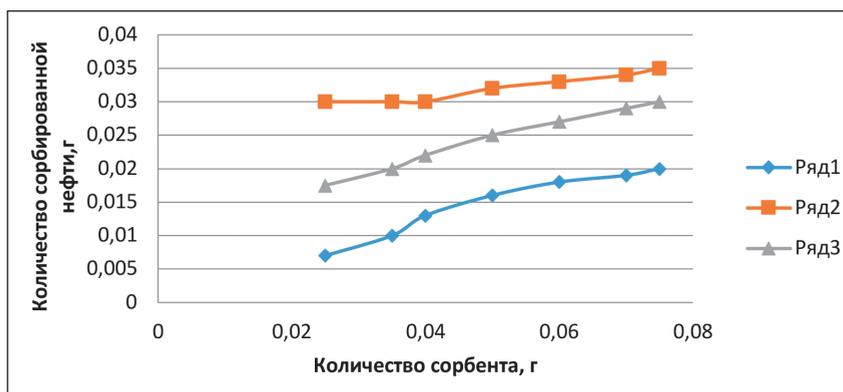


Рисунок 4 – Зависимость сорбционной способности от количества сорбента: 1 – ПШ, 2 – ППРШ, 3 – РШ

с образованием своеобразной сетчатой структуры. Это приводит к значительному увеличению вязкости суспензии в целом, и при больших концентрациях порошковых сорбентов в нефти наблюдается образование плотных конгломератов. В этом случае порошковые гидрофобные материалы играют роль веществ-густителей и приводят к уменьшению площади пятна нефти [15].

Как видно из *рисунка 5*, увеличение толщины нефтяной пленки увеличивает нефтепоглощающую способность сорбентов.

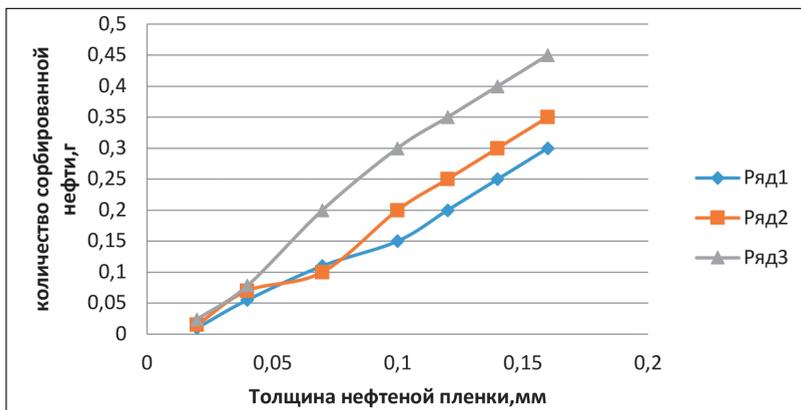


Рисунок 5 – Зависимость сорбционной способности от толщины нефтяной пленки: 1 – ПШ; 2 – РШ; 3 – ПП и РШ

Таким образом, проведенные исследования говорят о потенциальной возможности применения синтезированных нами полимерных продуктов в качестве сорбентов для удаления тонких нефтяных пленок.

Нами в данной работе был получен углеродно-полистирольный волокнистый материал для сбора нефти и нефтепродуктов, содержащий в качестве наполнителя рисовую шелуху к пенополистиролу (30 масс.%). Волокна полистирола в композите являются армирующей матрицей, в которой достаточно равномерно распределены волокна рисовой шелухи. Эти предположения были подтверждены исследованиями Раман спектроскопии. Полученный комбинированный сорбент на основе пенополистирола и рисовой шелухи был исследован методом Раман спектроскопии (*рисунком 6*).

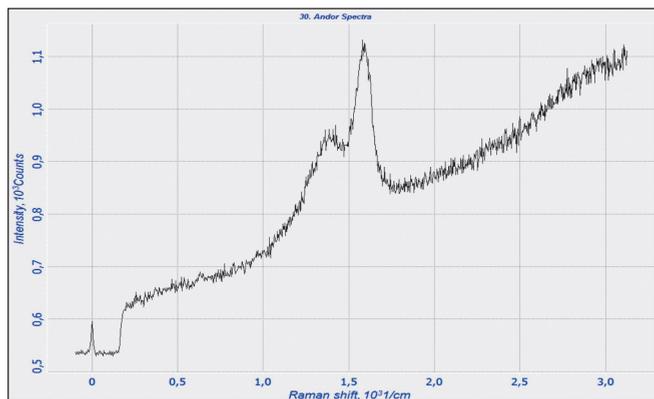


Рисунок 6 – Карбонизат рисовой шелухи с пенополистиролом после карбонизации

Из *рисунка 6* видно, что появляются 2 пика, характеризующие образование нового углеродного соединения, имеющего в своем составе комбинированную углеродную матрицу из рисовой шелухи и пенополистирола.

Максимальное значение нефтеемкости демонстрирует образец, содержащий 21 % наполнителя рисовой шелухи. Показатели нефтеемкости для всех исследованных образцов углерод-полистирольного волокна уменьшаются с понижением температуры (*рисунок 7*).

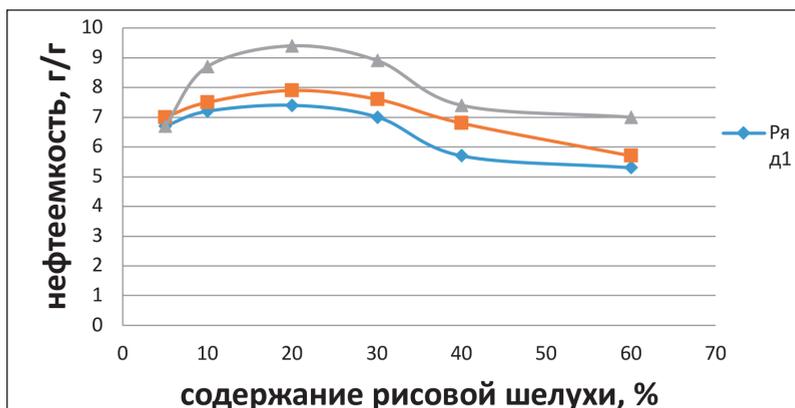


Рисунок 7 – Влияние содержания рисовой шелухи на нефтеемкость УПС при различных температурах. Ряд 1 – нефтеемкость УПС при температуре 0 °С, Ряд 2 – нефтеемкость УПС при температуре 10 °С, Ряд 3 – нефтеемкость УПС при температуре 25 °С

Данные *рисунка 8* показывают, что по количеству собранной нефти при 0 °С углеродно-полистирольный сорбент (21 % рисовая шелуха) является оптимальным сорбентом, имеющим высокую нефтеемкость (9,3 г) по сравнению с карбонизатами рисовой и подсолнечной шелухи. Этот фактор является бесспорным преимуществом в условиях зимнего разлива нефти.

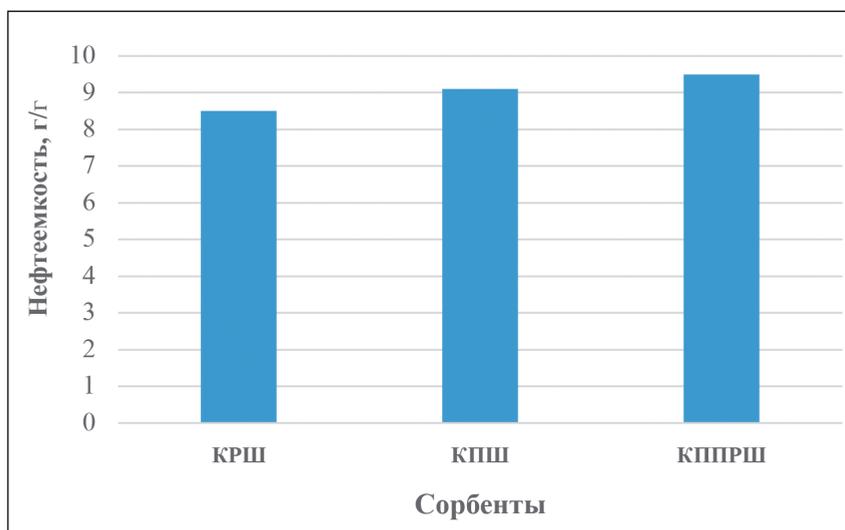


Рисунок 8 – Сравнительные характеристики сорбентов

Таким образом, полученный углеродно-полистирольный сорбент (21 % рисовая шелуха) имеет хорошие эксплуатационные характеристики. Отсутствие химических связующих и одностадийность процесса обеспечивают экологическую чистоту технологии получения и относительно низкую себестоимость сорбентов.

Заключение и выводы. Установлены основные закономерности очистки нефтесодержащих вод с помощью сорбционных материалов на основе растительного и техногенного сырья (ПШ – подсолнечная шелуха, РШ – рисовая шелуха, ППРШ – пенополистирол и рисовая шелуха), определяющих возможность эффективного использования их карбонизатов в процессах очистки воды от нефтепродуктов. Исследовано влияние кинетики сорбции на сорбционную способность сорбентов.

Установлено, что наибольшая сорбция нефти происходит в течение первых 4 часов. Сорбент на основе ПП и РШ в течение двух суток способен удерживать сорбированную нефть, тогда как сорбенты на основе ПШ и РШ спустя 4 часа активной сорбции начинают постепенно выпускать ее. Установлено, что после достижения оптимального времени сорбции (4 часа), скорость активной сорбции заметно снижается. Увеличение толщины нефтяной пленки увеличивает нефтепоглощающую способность сорбентов. По результатам раман спектроскопии полученного комбинированного сорбента на основе пенополистирола и рисовой шелухи можно заключить, что пористые углеродные материалы имеют сложную структуру, построенную в основном из микрокристаллитов углерода.

Исходя из вышеприведенных результатов можно сделать следующие **выводы**:

1. Показана возможность использования в качестве сорбентов для очистки воды от нефтяного загрязнения отходов сельского хозяйства рисовой шелухи, подсолнечной шелухи и пенополистирола.

2. Исследовано влияние кинетики сорбции на сорбционную способность сорбентов. Установлено, что наибольшая сорбция нефти происходит в течение первых 4 часов.

3. Изучены физико-механические характеристики синтезированных углеродных сорбентов (влияние сорбционной способности на количества сорбента, толщину нефтяной пленки, СЭМ, рамановское исследование). Получен углеродно-пенополистироловый сорбент (21 % рисовой шелухи и 79 % пенополистирола), который показал высокие результаты по количеству собранной нефти (9,3 г). 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Адамович Б.А., Дербичев Г.Б., Дудов В.И. Проблема удаления тонких нефтяных пленок с акваторий // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2008. – № 1. – С. 31–32 [Adamovich B.A., Derbichev G.B., Dudov V.I. Problema udaleniya tonkih neftyanyh plenok s akvatorii // Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie. – 2008. – № 1. – С. 31–32.].
- 2 Baiseitov D.A., Tulepov M.I., Sassykova L.R., Gabdrashova Sh. E., Gul'dana E., Zhumabai D.A.Kudaibergenov K.K., Mansurov Z.A. The sorbents for collection of oil and petroleum of the phytogenesis // International Journal of Chemical Sciences. – 2015. – №2. – P. 1027-1033.
- 3 Kudaibergenov K., Ongarbayev Ye., Mansurov Z. Et all. Rice husk ash for Oil Spill cleanup // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – V. 446-447. – P. 1508-1511.
- 4 Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. – 528

- с. [Kamenshikov F.A., Bogomolnii E.I. Udalenie nefteproduktov s vodnoi poverhnosti i grunta. – M. – Izhevsk: Institut kompiuternykh issledovaniy, 2006. – 528 s.].
- 5 Горожанкина Г.И., Пинчукова Л.И. Сорбенты для сбора нефти: сравнительные характеристики и особенности применения // Трубопроводный транспорт нефти. – 2000. – № 4. – С. 12–17. [Gorozhankina G.I., Pinchukova L.I. Sorbenty dlya sbora nefiti: sravnitelnye harakteristiki i osobennosti primeneniya // Truboprovodnyi transport nefiti. – 2000. – № 4. – S. 12–17.].
 - 6 Бордунов В.В., Коваль Е.О., Соболев И.А. Полимерные волокнистые сорбенты для сбора нефти // Нефтегазовые технологии. – 2000. – № 6. – С. 30-31. [Bordunov V.V., Koval E.O., Sobolev I.A. Polimennyye voloknistyye sorbenty dlya sbora nefiti // Neftegazovyye tehnologii. – 2000. – № 6. – S. 30-31.].
 - 7 Leonardo M.T.M. Oliveira, Junaid Saleem, Alireza Bazargan. Sorption as a rapidly response for oil spill accidents: A material and mechanistic approach (Review). Journal of Hazardous Materials. – 2021. – V. 407. 124842.
 - 8 Zaker Ali, Chen Zhi, Lee Kenneth, ben Hammouda Samia. Development of sludge-based activated char sorbent with enhanced hydrophobicity for oil spill cleanup // Environmental Technology (United Kingdom). – 2023. – №12. – V. 44. – P. 1772-1781.
 - 9 Досжанов Е.О., Сабитов А.Н., Досжанов О.М., Базарбаева Т.А., Акказин Е.А., Элимұратқызы А., Балторе Д.. Биоматериалдар негізінде мұнаймен ластанған топырақты тазартудың тиімді технологиясын әзірлеу // Нефть и газ. – 2023. – №1. – С. 134-143 [Doszhanov Ye.O., Sabitov A.N., Doszhanov O.M., Bazarbayeva T.A., Akkazin Ye.A., Alimuratkyzy A., Baltore D. Biomaterialdar negizinde munaimen lastangan topyrakty tazartudyn tiimdi tehnologiasyn azirleu // Neft i gaz. – 2023. – №1. – S. 134-143].
 - 10 Веприкова Е.В., Терещенко Е.А., Чесноков Н.В., Щипко М.Л., Кузнецов Б.Н. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // Журнал Сибирского федерального университета. – 2010. – №13. – Т. 3. – С. 285-302 [Veprikova E.V., Tereshenko E.A., Chesnokov N.V., Shipko M.L., Kuznetsov B.N. Osobennosti otsistki vody ot nefteproduktov s ispolzovaniem neftyanykh sorbentov, filtriushih materialov i aktivnykh uglei // Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. – 2010. – №13. – T. 3. – S. 285-302].
 - 11 Кулиев Т.Ф. Способы очистки грунта от нефтепродуктов на объектах железнодорожного транспорта. – Иркутск: ИрГУПС, 2003. – 195 с. [Kuliev T.F. Sposoby ochistki grunta ot nefteproduktov na ob'ektakh zheleznodorozhnogo transporta. – Irkutsk: IrGUPS, 2003. – 195 s.].
 - 12 Ануфриева Н.М., Нестерова М.П. Исследование пенополиуретана как средства удаления нефти с поверхности водоемов // Водные ресурсы. – 1976. – № 4. – С. 149-154. [Anufrieva N.M., Nesterova M.P. Issledovanie penopoliiuretana kak sredstva udaleniya nefiti s poverhnosti vodoemov. // Vodnye resursy. – 1976. – № 4. – S. 149-154.].
 - 13 Набаткин А.Н., Хлебников В.Н. Применение сорбентов для ликвидации нефтяных сорбентов // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 6. – С. 30-31 [Nabatkin A.N., Hlebnikov V.N. Primenenie sorbentov dlya likvidatsii neftyanykh sorbentov // Neftianoe hoziaistvo. – 2000. – № 6. – S. 30-31].
 - 14 Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: химия и экология. – 2008. – № 1. – С. 19-25 [Artemov A.V., Pinkin A.V. Sorbtsionnyye tehnologii otsistki vody ot neftyanykh zagriaznenii // Voda: himiya i ekologiya. – 2008. – № 1. – S. 19-25].
 - 15 Сорока П.И. Физико-химические основы процесса получения диоксида кремния из рисовой шелухи // Вестник нац. техн. ун-та «ХПИ». – 2010. – № 10. – с. 124-134. [Soroka P.I. Fiziko-himitcheskie osnovy protsessa polucheniya dioksida kremnia iz risovoi sheluhi // Vestnik nats. tech. un-ta «HPI». – 2010. – № 10. – p. 124-134].