

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНКУРС
«ОТКРЫТЫЙ МИР. СТАРТ В НАУКУ»**

**«Изучение возможности использования сорбентов на основе
природного материала для очистки природных вод от загрязнений
нефтепродуктами»**

Автор: Тесник Софья Дмитриевна,
МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №13» г. Калуги,
9 класс

Научный руководитель:
Абиева Маргарита Махеровна,
учитель физики
МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №13» г. Калуги,
Тесник Юлия Валерьевна,
педагог Центра одарённых детей г. Калуги

Калужская область, г. Калуга, 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	7
1.1 Общая характеристика сорбентов.....	7
ГЛАВА 2 Методика исследования и материал.....	9
ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.....	10
3.1 Сравнение сорбции нефтепродуктов разными сорбентами...	10
3.2 Сравнение сорбции разных нефтепродуктов одним сорбентом.....	12
3.3 Оценка водоёмкости сорбентов.....	14
3.4 Оценка плавучести сорбентов.....	14
3.5 Результаты проведения опытов в чашках Петри.....	15
ВЫВОДЫ.....	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	19

Аннотация

В работе рассмотрена актуальная проблема нефтепродуктами, в том числе проблема актуальна и для Калужской области.

Цель исследования: оценить эффективность использования некоторых сорбентов на основе природных материалов для очистки природных вод от загрязнения нефтепродуктами. Задачи исследования: 1. Исследовать показатели нефтеёмкость сорбентов на основе природного материала (сено из разнотравья, сено из золотарника гигантского (*Solidágo gigantéa*), древесина ирги колосистой (*Amelanchier spicata*), древесина облепихи крушиновидной (*Hippórphaë rhamnóides*), древесина/листья дуба красного (*Quércus rúbra*) в сравнении с традиционным сорбентом в модельных средах. 2. Оценить водоёмкость сорбентов. 3. Изучить плавучесть сорбентов. 4. Выявить оптимальные временные промежутки сорбции нефтепродуктов при использовании изучаемых сорбентов. Гипотеза: мы предполагаем, что природные материалы (сено из разнотравья, сено из золотарника гигантского, древесина ирги колосистой, древесина облепихи крушиновидной, древесина/листья дуба красного) можно использовать в качестве эффективных сорбентов для очистки природных вод от загрязнения нефтепродуктами. Объект исследования: сорбенты на основе природных материалов. Предмет исследования: эффективность сорбентов на основе природных материалов.

В качестве материала для получения сорбентов взяты «чернокнижные растения»: золотарник гигантский, ирга колосистая, облепиха крушиновидная, дуб красный, сено из разнотравья и покупной «Сорбент Х» в качестве сравнения. В качестве сорбируемого материала использовали отработанное моторное масло, бензин, дизельное топливо (одни из наиболее распространённых нефтепродуктов в Калужской области). Эффективность сорбента оценивали по трём основным показателям: нефтеёмкости, водоёмкости и плавучести.

В ходе проделанной работы мы получили следующие результаты и сделали выводы: из 10 биосорбентов наиболее высокая степень нефтепоглощения наблюдалась у биосорбента из листьев красного дуба при сорбции всех трех нефтепродуктов во все временные периоды эксперимента. Оптимальные промежутки сорбции от 45 до 75 минут. Наша гипотеза подтвердилась частично: некоторые природные материалы можно использовать в качестве эффективных биологических сорбентов для очистки природных вод от загрязнения нефтепродуктами.

Описание работы

«Изучение возможности использования сорбентов на основе природного материала для очистки природных вод от загрязнений нефтепродуктами»

Автор: Тесник Софья Дмитриевна,

МБОУ «Средняя общеобразовательная школа №13» г. Калуги,

9 класс

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема загрязнения природных экосистем химическими веществами является крайне актуальной, одной из глобальных проблем современного общества как в России, так и во всём мире [1]. Среди загрязнителей химической природы большую опасность для окружающей среды и человека представляет нефть и нефтепродукты. Случайный и целенаправленный сброс таких веществ отрицательно влияет на экологическую систему мирового океана и другие водные экосистемы, на почву, а также на отдельные живые организмы. По данным мониторинга Росприроднадзора, в 2019 году в России было зарегистрировано 819 случаев разлива нефти на общей площади 93,6 га. Сложившаяся ситуация остро ставит вопрос улучшения методов удаления нефтяных плёнок с поверхности водоёмов с учётом изменения состава плёнки во времени [5]. К традиционным методам очистки субстратов от нефтяных плёнок относят использование нефтяных сорбентов. Но, несмотря на существующее их разнообразие, поиск и исследование новых наиболее эффективных сорбентов продолжается. Использование природного сырья является одним из перспективных направлений в очистке вод от нефтяных загрязнений. В последние годы одним из направлений поиска сорбентов является изучение сорбции растениями «Чёрной книги», например, борщевиком Сосновского [5, 9].

Цель исследования: оценить эффективность использования некоторых сорбентов на основе природных материалов для очистки природных вод от загрязнения нефтепродуктами. Задачи исследования: 1. Исследовать показатели нефтеёмкость сорбентов на основе природного материала (сено из разнотравья, сено из золотарника гигантского (*Solidágo gigantéa*), древесина ирги колосистой (*Amelanchier spicata*), древесина облепихи крушиновидной (*Hippóphaë rhamnóides*), древесина/листья дуба красного (*Quércus rúbra*) в сравнении с традиционным сорбентом в модельных средах. 2. Оценить водоёмкость сорбентов. 3. Изучить плавучесть сорбентов. 4. Выявить оптимальные временные промежутки сорбции нефтепродуктов при использовании изучаемых сорбентов. Гипотеза: мы предполагаем, что природные материалы (сено из разнотравья, сено из золотарника гигантского, древесина ирги колосистой, древесина облепихи крушиновидной, древесина/листья дуба красного) можно использовать в качестве эффективных сорбентов для очистки природных вод от загрязнения нефтепродуктами. Объект исследования: сорбенты на основе природных материалов. Предмет исследования: эффективность сорбентов на основе природных материалов.

Мы считаем, что наше исследование актуально, так как, во-первых, загрязнение природных вод нефтепродуктами в последние годы не уменьшается, факты такого загрязнения отмечены и в Калужской области (Приложение 1), в-третьих, «чернокнижные растения» являются интересным объектом эколого-химических исследований, в том числе и в направлении регулирования их численности и получения из них важного сырья необходимого для нужд человека. При анализе литературных источников подобных научно-исследовательских работ, проводимых школьниками на территории Калужской области, нами не найдено.

ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Общая характеристика сорбентов

Сорбенты (от лат. *sorbens* — поглощающий) – это поглотители (чаще всего твёрдое тело, но может быть и жидкое) [6]. Сорбенты относятся к сорбционно-активным веществам неорганической и органической природы с различными функциональными свойствами. Сорбенты избирательно поглощают (сорбируют) из окружающей среды газы, пары или растворённые вещества. Сорбция – процесс поглощения одного вещества поверхностью или объемом другого. Вещество, частицы которого поглощаются (газ, жидкость или растворенный компонент), называется «сорбат» (иногда – «сорбтив») [1]. Материалы, применяемые для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности водоемов, принято называть нефтяными сорбентами, а также нефтесобираателями и нефтепоглотителями [7]. Для определения качества нефтяных сорбентов используют три основных показателя: нефтепоглощение, водопоглощение, плавучесть. Также к качественным характеристикам этих веществ относятся: возможность удаления нефти из сорбента, возможность регенерации сорбента, утилизируемость. Классификация сорбентов основывается на следующих критериях: происхождение вещества, его структура, способ поглощения или сфера применения [1]. Это основные критерии. По происхождению сорбентов разделяются на органические, минеральные и синтетические [1]. Органические сорбенты произошли при отмирании растений в водной среде без доступа воздуха. Например, болото является идеальной средой для появления подобных веществ как торф. Именно поэтому торф является основным в этой категории. Торфяные сорбенты полностью экологичны и безопасны для окружающей среды. Если они поглотят нефть, то не нанесут вреда окружающей среде. Их не нужно утилизировать, а можно закопать в землю как удобрение или сжечь. Синтетические сорбенты получают искусственно из химических веществ путём различных операций. Минеральные образуются природным путём,

поэтому это вещества природного происхождения. Самыми яркими из них — цеолиты, иониты, аниониты, глины, песок. Можно добавить к текущей группе такие вещества как оксид алюминия, гидроксид и фосфат циркония. Сорбенты асканит, tonsil, равно как щелочной силикагель и алюминат натрия, также включены в группу минеральных. Если синтетика недорога, то минеральные довольно дороги в получении и неудобны. В зависимости от структуры вещества сорбенты делят на твёрдые, гранулированные, волокнистые, губчатые, жидкие, комбинированные [1]. Твёрдые сорбенты включают любые сухие сыпучие и твёрдые вещества. Сюда входят торфяные сорбенты, многие синтетические и минеральные. Если не рассматривать газы и жидкости, то твёрдыми можно считать все остальные вещества. Жидкие включают масла, воду, триэтиленгликоль, и некоторые деструкторы и растворы бактерий. Если добавить некоторые из них в твёрдые, то поглощение нефти усилится. Подобные гибридные сорбенты называются комбинированными. В зависимости от характера сорбции различают абсорбенты — тела, образующие с поглощённым веществом твёрдый или жидкий раствор, адсорбенты — тела, поглощающие (сгущающие) вещество на своей (обычно сильно развитой) поверхности, и химические поглотители, которые связывают поглощаемое вещество, вступая с ним в химическое взаимодействие [1]. Отдельную группу составляют ионообменные сорбенты (иониты), поглощающие из растворов ионы одного типа с выделением в раствор эквивалентного количества ионов другого типа. Широко используют активированный уголь, силикагель, оксид алюминия, диоксид кремния, различные ионообменные смолы, дибутилфталат и др. Современные сорбенты очень разнообразны: природные и искусственные. В качестве природных сорбентов используются глины и диатомиты, поскольку они стоят недорого, а их производство возможно в больших объемах [4]. Также используется песок, который в основном используется для сорбции разливов небольшой площади. Однако по экологическим соображениям применение сорбентов

такого вида неэффективно. Среди природных материалов используются: древесная щепа, опилки, модифицированные торфы, высушенные зерновые продукты, шерсть, макулатура [12]. Среди искусственных сорбентов Эколан-М, Экопросорб, Мегасорб, Peat Sorb, СТРГ [8]. Более подробная характеристика этих сорбентов представлена в Приложении 2.

ГЛАВА 2 Методика исследования и материал

Материал для изготовления сорбентов собирался в течение августа-ноября 2022 г. Древесина ирги колосистой была собрана недалеко от спорткомплекса «Анненки» (54.5277140; 36.1678910), древесина облепихи крушиновидной - недалеко от автомагистрали Киевское шоссе в районе деревни Дегтянка Бабынинского района Калужской области (54.487616; 35.923302), древесина/листья дуба красного на территории ЦОД «Сокол» (54.527015; 36.167803), сено из разнотравья собрано в деревни Рыково Бабынинского района (54.479111; 35.886426), золотарник гигантский собран в районе п. Муромцево Бабынинского района (54.511316; 35.955417). Собранный материал высушивался в сушильном шкафу при температуре 40-50⁰С и размельчался вручную (древесина и кора, для красного дуба – древесина и листья, для золотарника – цветы, листья+стебли (поперёк и вдоль) (Приложение 3). Форма сорбентов сыпучая. Подготовка сорбентов и опыты проводили в ЦОД «Сокол» г. Калуги в лабораторных условиях: в помещении с вытяжной вентиляцией при температуре воздуха от 20 до 22⁰С и относительной влажности от 60 до 70 % [10] (Приложение 3). В качестве сорбируемого материала использовали отработанное моторное масло (ММ), бензин А95, дизельное топливо (ДТ) (одни из наиболее распространённых нефтепродуктов в Калужской области). Для взвешивания сорбентов (1г) использовали лабораторные весы с ценой деления 0,01г. В качестве лабораторной посуды использовали химические стаканы на 150 мл, чашки Петри, одноразовые пластиковые стаканчики, чашки для кристаллизации. Для оценки плавучести закладывали сорбент на слой нефтепродукта и оценивали визуально за

период 2 часа (каждые 15 минут). Эксперимент проводили с помощью весовой методики по схеме [10]: 1) В химический стакан наливали дистиллированную воду (75 мл). 2) На поверхность воды наносили слой нефтепродуктов 1,0-1,1 см. 3) на слой нефтепродуктов помещали предварительно взвешенный сорбент (1 г). 4) Через 15 минут аккуратно пинцетом удаляли из емкости сорбент, одновременно остановив секундомер, давали стечь непоглощенному нефтепродукту и воде, взвешивали его, определяли массу поглощенного нефтепродукта как разность между массой материала после опыта и перед его началом. Затем этот же сорбент повторно помещали в ёмкость с водой на слой нефти, включали секундомер и выдерживать 15 минут, а затем повторяли процедуру взвешивания. Этот процесс повторяли, пока общее время нахождения сорбента в емкости не составляло 120 минут (или пока не получали массу сорбируемого нефтепродукта трижды $\pm 0,01-0,03$ мг в один и тот временной промежуток), при этом наблюдали, как ведет себя материал на поверхности, какова его плавучесть. Результаты сорбции изготовленных сорбентов сравнивали с результатами сорбции покупного «Сорбента Х». Второй вариант опытов проводили в чашках Петри с целью изучения сорбции тонкой плёнки нефтепродуктов. Для создания тонкой плёнки нефтепродуктов в лабораторных условиях в чашку Петри наливали ~ 40 мл воды, на поверхность которой капали 1,5 мл каплей нефтепродуктов. По мере образования нефтяного пятна определяли диаметр образовавшейся пленки. После сбора сорбентов (временные промежутки исследования такие же как в 1 варианте опыта в химических стаканах), визуально определяли диаметр нефтяных пятен [11]. Изучение водоёмкости проводили аналогично изучению нефтеёмкости [10]: вода (100 мл) + сорбент. Взвешивали каждые 15 минут в течении 2 часов.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Сравнение сорбции нефтепродуктов разными сорбентами

В процессе проведения экспериментов мы получили следующие

результаты (Приложение 5). На рисунках 1, 2, 3 представлена зависимость сорбционной способности сорбента (зависимость прямопропорциональна массе сорбента после сорбции) от времени сорбции. Фотографии проведенных экспериментов представлены в Приложении 4.

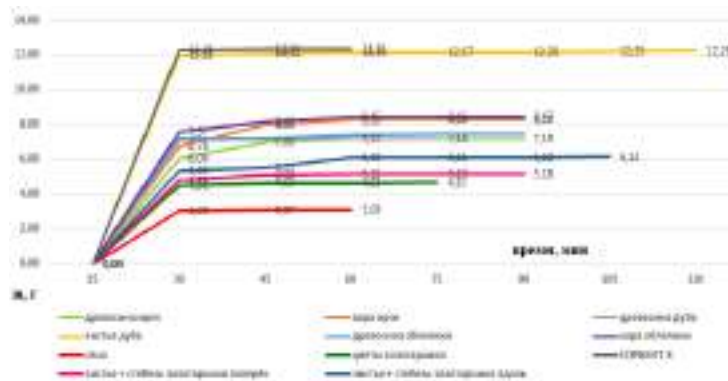


Рис. 1. Зависимость сорбционной активности сорбента от времени сорбции ММ

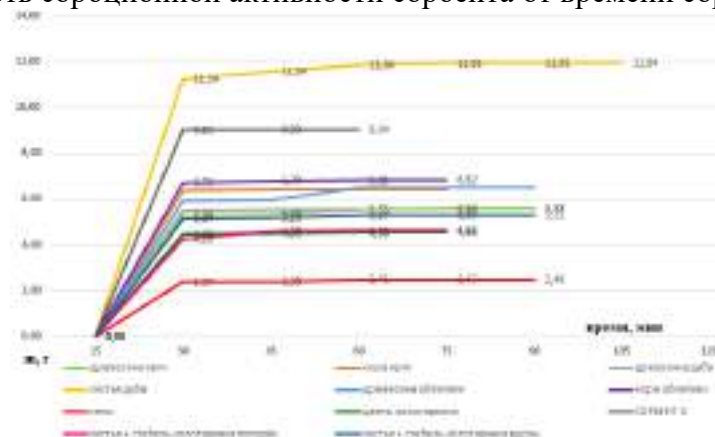


Рис. 2. Зависимость сорбционной активности сорбента от времени сорбции бензина А95

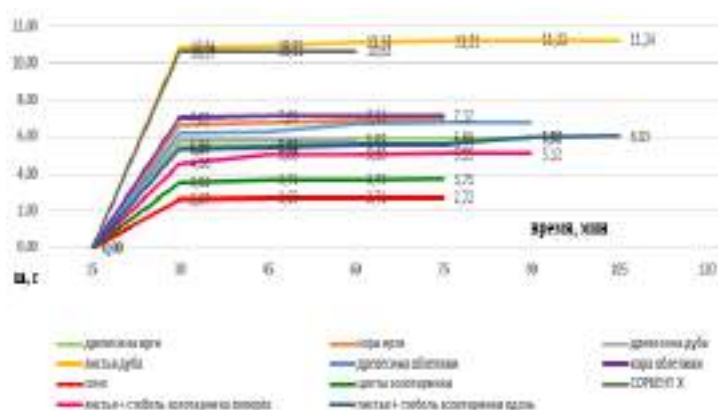


Рис. 3. Зависимость сорбционной активности сорбента от времени сорбции ДТ

Из 10 сорбентов наиболее высокая степень нефтепоглощения наблюдалась у сорбента из листьев красного дуба при сорбции всех трех нефтепродуктов во все временные периоды эксперимента, наименьшая — сено из разнотравья, цветы золотарника, а также «стебель+листья

золотарника поперёк» при сорбции бензина. Средние значения показали все остальные сорбенты. По сравнению с «Сорбентом Х» масса поглощенных нефтепродуктов немного больше у листьев дуба при сорбции ММ и ДТ, при сорбции бензина сорбент из листьев дуба показал значительно большую нефтеёмкость, чем «Сорбент Х». При сорбции всех трех нефтепродуктов наблюдается очень большая разница между массой сорбированных нефтепродуктов листьями красного дуба и другими сорбентами (рис. 2, 3, 4). Масса сорбируемых нефтепродуктов древесиной (ирги, облепихи) больше, чем корой соответствующего природного сырья. Сорбция у «стебель+ листья поперёк» меньше, чем у «стебель+ листья вдоль».

3.2 Сравнение сорбции разных нефтепродуктов одним сорбентом

Как видно из представленных данных, максимальная сорбция всех сорбентов осуществляется в первые 15 минут в трех нефтепродуктах. Наиболее высокие показатели по массе сорбируемого нефтепродукта наблюдаются при сорбции ММ 9 сорбентами (рис 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13) и «Сорбентом Х» (рис. 14). При сорбции цветами золотарника ДТ масса сорбата меньше, чем при сорбции бензина.

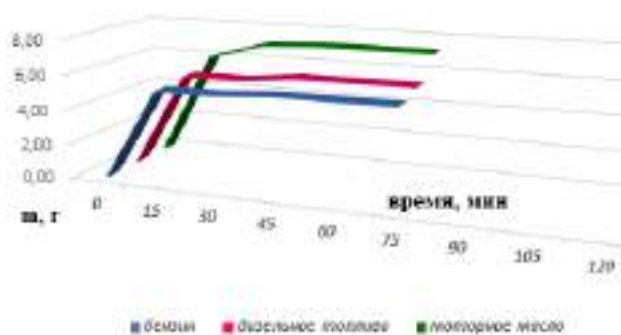


Рис. 4. Древесина ирги

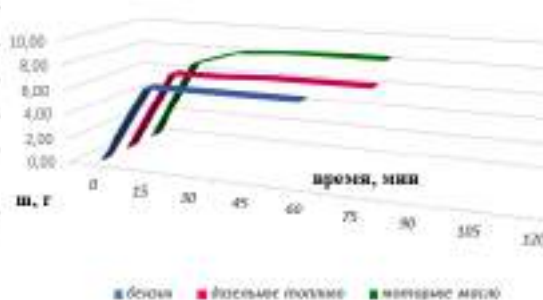


Рис. 5. Кора ирги

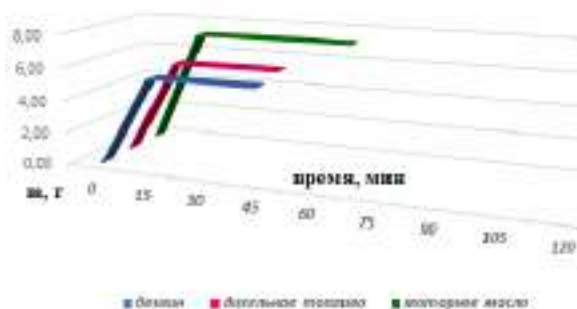


Рис. 6. Древесина дуба

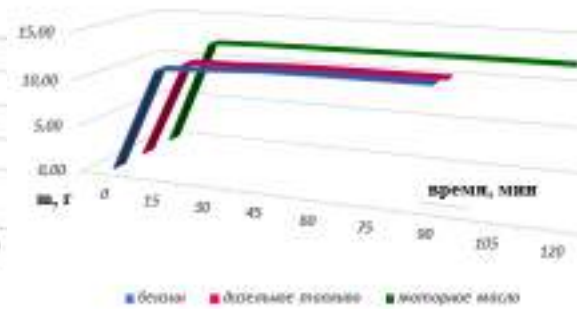


Рис. 7. Листья дуба

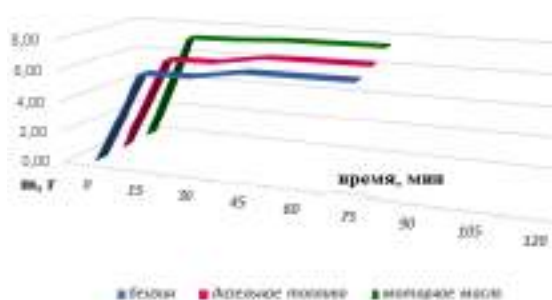


Рис. 8. Дровесина облепихи

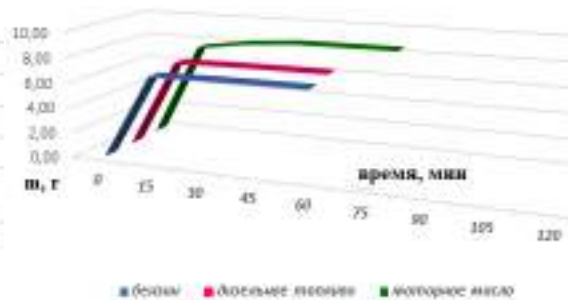


Рис. 9. Кора облепихи

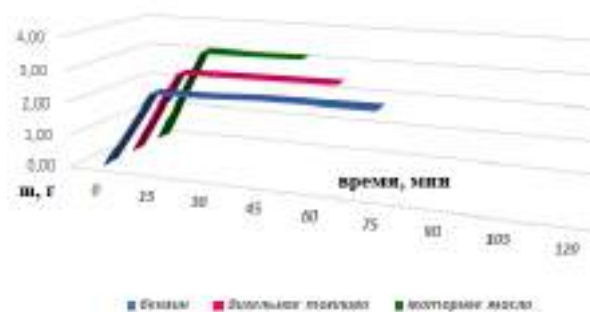


Рис. 10. Сено

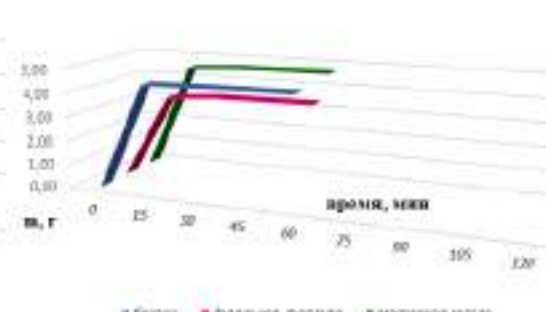


Рис. 11. Цветы золотарника

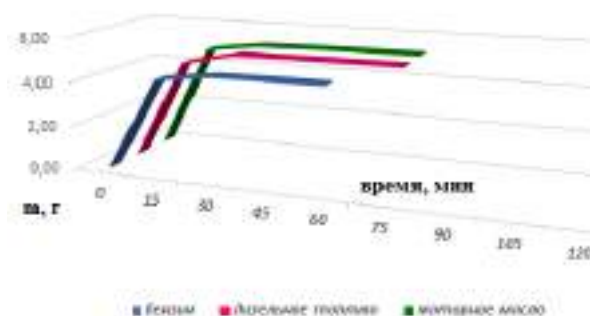
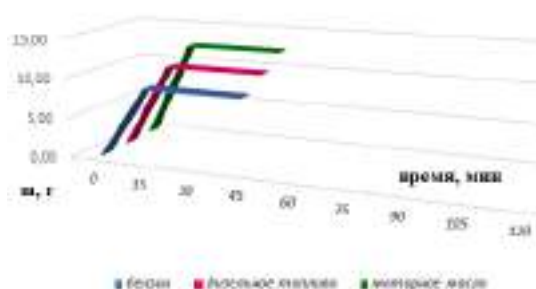
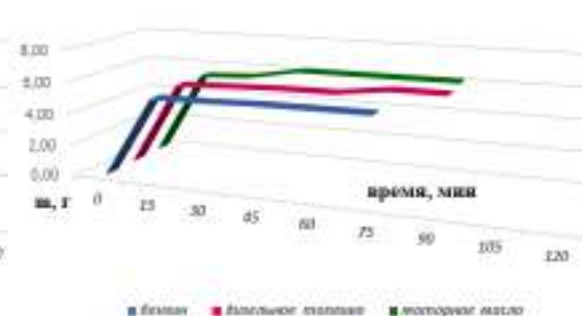
Рис. 12. «Листья+стебель золотарника поперек» Рис. 13. «Листья+стебель золотарника
вдоль»

Рис. 14. «Сорбент X»

При сравнении сорбции отдельного нефтепродукта определённым сорбентом в зависимости от времени сорбции мы получили следующие результаты: точка «остановки увеличения сорбции» у большинства сорбентов находится в промежутке от 15 до 45 минут (для ММ, бензина, ДТ),

из этого списка выпадают листья дуба (сорбция ММ прекращается расти в промежутке от 90 до 120 минут, бензина – от 60 до 90 минут) и «листья+стебель золотарника вдоль» (сорбция ДТ – от 60 до 90 минут). В этих временных промежутках сорбенты способны удерживать сорбированные нефтепродукты. «Сорбент Х», в отличие от большинства сорбентов, показал устойчивую сорбции в промежутке от 15 до 45 минут.

3.3 Оценка водоёмкости сорбентов

При анализе результатов экспериментов по оценке водоёмкости изучаемых сорбентов (Табл. 1) мы сделали следующие выводы: водоёмкость всех сорбентов не значительна, по сравнению с нефтеёмкостью. Самую большую водоёмкость показали листья дуба красного и «Сорбент Х».

Табл. 1. Водоёмкость сорбентов

Сорбент	Время, мин							
	15	30	45	60	75	90	105	120
	усредненная m воды, г (по трем повторам)							
Древесина ирги	0,41	0,42	0,43	-	-	-	-	-
Кора ирги	0,63	0,64	0,66	-	-	-	-	-
Древесина дуба	0,54	0,56	0,57	-	-	-	-	-
Листья дуба	3,01	3,05	3,06	3,07	-	-	-	-
Древесина облепихи	1,09	1,10	1,11	-	-	-	-	-
Кора облепихи	0,97	0,99	1,01	-	-	-	-	-
Сено	0,39	0,41	0,42	-	-	-	-	-
Цветы золотарника	1,16	1,17	1,19	-	-	-	-	-
Листья+стебель золотарника(поперёк)	0,91	0,92	0,94	-	-	-	-	-
Листья+стебель золотарника(вдоль)	1,15	1,16	1,18	-	-	-	-	-
Сорбент Х	8,42	8,44	8,45	-	-	-	-	-

3.4. Оценка плавучести сорбентов

В процессе визуальной оценки плавучести сорбентов (Таблица 2) мы получили следующие результаты: плавучесть всех сорбентов на протяжении 120 минут устойчивая, кроме сена. Плавучесть сена устойчивая на протяжении 15 минут. Оно проявляет частичное погружение. Плавучесть «Сорбента Х» по сравнению с сорбентами меньше, но у этих сорбентов разная форма, «Сорбент Х» сыпучий.

Табл. 2. Визуальная оценка плавучести сорбентов

Сорбент	Время, мин							
	15	30	45	60	75	90	105	120
	Визуальные наблюдения: «+» весь сорбент в нефтепродукте и на его поверхности, «+-» частично погружен в воду, «-» практически полностью погружен в воду							
Древесина ирги	+	+	+	+	+	+	+	+
Кора ирги	+	+	+	+	+	+	+	+
Древесина дуба	+	+	+	+	+	+	+	+
Листья дуба	+	+	+	+	+	+	+	+
Древесина облепихи	+	+	+	+	+	+	+	+
Кора облепихи	+	+	+	+	+	+	+	+
Сено	+	+-	+-	+-	+-	+-	+-	+
Цветы золотарника	+	+	+	+	+	+	+	+
Листья+стебель золотарника(поперёк)	+	+	+	+	+	+	+	+
Листья+стебель золотарника(вдоль)	+	+	+	+	+	+	+	+

3.5 Результаты проведения опытов в чашках Петри

При проведении опытов в чашках Петри (Приложение 6) мы получили следующие результаты: выбранная нами методика проведения опытов не позволила полностью оценить эффективность изучаемых сорбентов для удаления пятен нефтепродуктов (ММ, ДТ, бензина), так как после 15 минут опыта при попытке удалить сорбенты и визуально изучить пятно нефтепродуктов (изменение диаметра и цвета пятен), пятно нарушило свою целостность, во всех чашках Петри (все сорбенты, все нефтепродукты) мы наблюдали рассредоточенность единого начального пятна. В чашках Петри с ММ мы наблюдали обесцвечивание пятен. Это может служить косвенным доказательством того, что изучаемые сорбенты обладают сорбционной способностью по отношению к ММ, ДТ и бензину.

ВЫВОДЫ

В ходе проделанной работы мы получили следующие результаты и сделали выводы:

1) Из 10 сорбентов наиболее высокая степень нефтепоглощения наблюдалась у сорбента из листьев красного дуба при сорбции всех трех

нефтепродуктов во все временные периоды эксперимента, наименьшая – сено из разнотравья, цветы золотарника. 2) При анализе водоёмкости все сорбенты показали невысокие результаты. 3) Плаваемость у всех сорбентов, кроме сена, на протяжении 120 минут устойчивая. 4) Максимальная сорбция всех сорбентов осуществляется в первые 15 минут в трех нефтепродуктах. Наиболее высокие показатели по массе сорбируемого нефтепродукта наблюдаются при сорбции моторного масла всеми сорбентами, кроме сена. Оптимальные временные промежутки сорбции: точка «остановки увеличения сорбции» у большинства сорбентов находится в промежутке от 15 до 45 минут для трёх нефтепродуктов, из этого списка выпадают листья дуба (сорбция моторного масла прекращается расти в промежутке от 90 до 120 минут, бензина – от 60 до 90 минут) и «листья+стебель золотарника вдоль» (сорбция дизельного топлива – от 60 до 90 минут). В этих временных промежутках сорбенты способны удерживать сорбированные нефтепродукты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее эффективным сорбентом для удаления нефтяного загрязнения является сорбент на основе листьев красного дуба, несмотря на его более высокую водоёмкость по сравнению с другими сорбентами. Мы считаем, что цель исследования достигнута. Мы оценили эффективность использования сорбентов на основе природных материалов для очистки природных вод от загрязнения нефтепродуктами. Наша гипотеза подтвердилась частично: некоторые природные материалы можно использовать в качестве эффективных сорбентов для очистки природных вод от загрязнения нефтепродуктами. Несмотря на детальную проработку темы исследования и проведение опытов с достаточной точностью, необходимо дальнейшее изучение сорбции нефтепродуктов сорбентами на основе предложенных «чернокнижных растений» (в том числе и при различной температуре нефтепродуктов), а также усовершенствование методики проведения эксперимента (использование пакетиков для

сорбентов), а также возможно расширение перечня изучаемых «чернокнижных растений» для получения новых сорбентов.

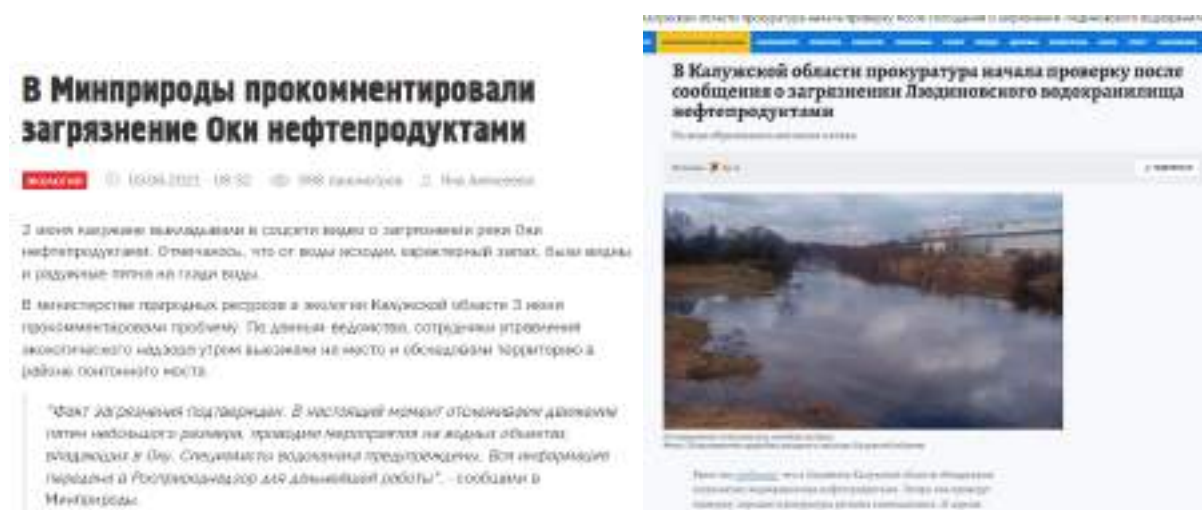
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альмяшева О.В., Гусаров В.В., Лебедев О.А. Поверхностные явления: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». -СПб., 2004 - 28 с.
2. В Калужской области прокуратура начала проверку после сообщения о загрязнении Людиновского водохранилища нефтепродуктами - URL: <https://www.kaluga.kp.ru/daily/27383/4577958/>
3. В Минприроды прокомментировали загрязнение Оки нефтепродуктами. - URL: <https://www.kaluga-poisk.ru/news/ekologiya/v-minprirody-prokommentirovali-zagryaznenie-ok-i-nefteproduktami>
4. Долгополова В.Л. Способы очистки морских акваторий от нефтяных загрязнений / В. Л. Долгополова, О. В. Патрушева. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 29 (133). — С. 229-234. — URL: <https://moluch.ru/archive/133/37456/> (дата обращения: 06.10.2022).
5. Кабарухин В.К. Изучение удаления нефтезагрязнений с поверхности воды различными сорбентами. Университет Дубна. — URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018024189>
6. Комиссаренков А. А., Федорова О. В. Сорбционные технологии. Определение свойств сорбентов: учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы / СПбГТУРП. – СПб., 2015 - 44 с.
7. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей Е.В. Веприкова, Е.А. Терещенко, Н. В. Чеснокова, М.Л. Щипкова, Б.Н. Кузнецова
8. Сорбенты для нефти и нефтепродуктов: основные материалы и их характеристики. – URL: <https://punkti-priema.ru/articles/sorbenty-dlya-nefti-i-nefteproduktov>

9. Токсичный спаситель: российские ученые нашли применение борщевiku Сосновского. – URL: <https://www.vokrugsveta.ru/articles/toksichnyi-spasitel-rossiiskie-uchenye-nashli-primenenie-borsheviku-sosnovskogo-id744901/>
10. Фонарёва К.А. Сорбция нефтепродуктов полиэтилентерефталатным волокном и его регенерация центробежным способом. - URL: <https://rusoil.net/files/1006/FonarevaKA/Автореферат%20Фонаревой%20К.А.pdf>
11. Удаление тонких нефтяных плёнок с водной поверхности Сентюрова М.В., Демьянова Н.А. – URL: <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/10979/s076-011.pdf?sequence=1>
12. Хаустов, А. П. Охрана окружающей среды при добыче нефти/ Хаустов, А. П., Редина, М. М. Издательство: «Дело», 2006. - 552 с.

Приложение 1

Факты загрязнения природных вод Калужской области нефтепродуктами [2, 3]



Приложение 2

Табл. 1. Сравнение свойств сорбентов

Название	Наполнение	Эффектив-ность	Эколо-гич-ность	Утили-зация	Повторное использование
Эколан-М	Древесная основа	+	+	захороне-ние	-
Экопросорб	Целлюлоза, в составе гуминовых кислот	+	+	переработка	-
Мерасорб	?	+	+	?	+
Peat Sorb	Торф	В 10 раз эффективнее чем глина	+	захоронение	-
СТРГ	Графит	+	+	сжигание в специаль-ных печах	-

Приложение 3

Табл. 1. Моторное масло (1 вариант опыта)

Сорбент	Время, мин							
	15	30	45	60	75	90	105	120
	усредненная m сорбированного нефтепродукта, г (по трем повторам)							
Древесина ирги	6,06	7,00	7,17	7,18	7,19	-	-	-
Кора ирги	6,78	8,00	8,26	8,28	8,28	-	-	-
Древесина дуба	7,10	7,15	7,16	7,17	-	-	-	-
Листья дуба	12,01	12,12	12,16	12,17	12,20	12,25	12,26	12,26
Древесина облепихи	7,20	7,25	7,41	7,43	7,45	-	-	-
Кора облепихи	7,57	8,15	8,45	8,46	8,47	-	-	-
Сено	3,06	3,07	3,09	-	-	-	-	-
Цветы золотарника	4,51	4,63	4,65	4,67	-	-	-	-
Листья+стебель золотарника(поперёк)	4,78	5,10	5,15	5,17	5,18	-	-	-
Листья+стебель золотарника(вдоль)	5,35	5,51	6,10	6,11	6,12	6,14	-	-

Табл. 2. Бензин А95 (1 вариант опыта)

Сорбент	Время, мин							
	15	30	45	60	75	90	105	120
	усредненная m сорбированного нефтепродукта, г (по трем повторам)							
Древесина ирги	5,30	5,33	5,55	5,56	5,58	-	-	-
Кора ирги	6,38	6,40	6,41	6,42	-	-	-	-
Древесина дуба	5,51	5,54	5,55	-	-	-	-	-
Листья дуба	11,24	11,54	11,84	11,91	11,92	11,94	-	-
Древесина облепихи	5,90	5,95	6,48	6,49	6,51	-	-	-
Кора облепихи	6,72	6,79	6,81	6,82	-	-	-	-
Сено	2,37	2,38	2,46	2,47	2,49	-	-	-
Цветы золотарника	4,46	4,51	4,53	4,55	-	-	-	-
Листья+стебель золотарника(поперёк)	4,26	4,58	4,61	4,62	-	-	-	-
Лис.+ст.золотарника(вдоль)	5,14	5,16	5,27	5,29	5,31	-	-	-

Табл. 3. Дизельное топливо (1 вариант опыта)

Сорбент	Время, мин							
	15	30	45	60	75	90	105	120
	усредненная m сорбированного нефтепродукта, г (по трем повторам)							
Древесина ирги	5,50	5,53	5,87	5,89	5,91	-	-	-
Кора ирги	6,68	6,70	6,91	6,92	6,94	-	-	-
Древесина дуба	5,82	5,84	5,86	-	-	-	-	-
Листья дуба	10,84	10,91	11,14	11,21	11,22	11,24	-	-
Древесина облепихи	6,20	6,25	6,78	6,79	6,81	-	-	-
Кора облепихи	7,02	7,09	7,11	7,12	-	-	-	-
Сено	2,67	2,69	2,71	2,72	-	-	-	-
Цветы золотарника	3,56	3,71	3,73	3,75	-	-	-	-
Листья+стебель золотарника(поперёк)	4,56	5,08	5,10	5,11	5,12	-	-	-
Лис+ст.золотарника(вдоль)	5,34	5,46	5,57	5,59	6,02	6,03	-	-

Табл. 4. Результаты сорбции «Сорбентом X» (1 вариант опыта)

Сорбент	Время, мин							
	15	30	45	60	75	90	105	120
	усредненная m сорбированного нефтепродукта, г (по трем повторам)							
ММ	12,31	12,34	12,35	-	-	-	-	-
ДТ	10,59	10,61	10,63	-	-	-	-	-
Бензин	9,01	9,03	9,05	-	-	-	-	-

