

[название учебного заведения]

Исследовательская работа

**Альтернативные углеродные электроды из растительных
материалов вида *Heracléum sosnówskyi* для изготовления
суперконденсаторов**

Выполнила [ФИО автора]

Москва 2018

Оглавление:

Введение	3
Цель исследования	3
История изобретения суперконденсаторов	4
Определение суперконденсаторов	5
Углеродные материалы, применяемые в качестве электродов	6
История попыток культивирования борщевика	7
Методы исследования	8
Ход эксперимента	9
Заключение	13
Список литературы	14

Введение

В наше высокотехнологичное время вопрос сохранения природных ресурсов и замены такого топлива как нефть и газ на более экологичные и дешевые альтернативы имеет важное значение. Суперконденсаторы (также известные как ионисторы) представляют собой систему нового уровня для накопления и хранения заряда и энергии электрического поля. По сравнению с классическими диэлектрическими конденсаторами суперконденсаторы обеспечивают более высокую удельную плотность энергии, они устойчивы к короткому замыканию, имеют большую удельную плотность мощности, если сравнивать с батареями.

Способность сохранять и отдавать энергию высокой мощности за кратчайшее время обуславливает проявляемый к ионисторам интерес. В последние годы наблюдается рост их популярности при использовании в промышленности и других областях. Электрохимические суперконденсаторы применяются в строительстве различных видов транспорта, строительного оборудования и т. д.

Промышленный спрос на суперконденсаторы постоянно растет, поэтому немаловажно применять новые подходы и способы решения этой задачи, путем разработки новых электродных материалов.

Из таких материалов наиболее многообещающими на сегодняшний день являются углеродные в силу их относительно небольшой стоимости, электропроводимости, разнообразия нанотекстур и структурных свойств.

Также многие международные эксперты рассматривают ионисторы как исключительно востребованные приспособления для хранения энергии.

Цель исследования

Путем проведения экспериментов оценить, выгодно ли использовать *Heracléum sosnówskyi* (Борщевик Сосновского) в качестве дешевого сырья для изготовления углеродных электродов для суперконденсаторов.

Для достижения цели исследования, нужно решить следующие задачи:

- Изучить литературу по теме
- Собрать и подготовить растительный материал
- Разработать методику получения углеродного материала для электродов
- Провести эксперимент
- Сравнить параметры стандартных и полученных в ходе эксперимента углеродных материалов

История изобретения суперконденсаторов

Конденсатор был изобретен немецким физиком Эвальдом Юргеном фон Клейстером и голландским физиком Питером Ван Мушенбруком в 1745-м году в университете города Лейдена в Германии, причем случайно, в ходе эксперимента. Изначально устройство называлось “Лейденская банка”, однако в те времена оно не нашло промышленного применения и использовалось в основном для розыгрышей.

Последующие 200 лет конденсаторы не имели другого применения. И только в 1920-х годах конденсаторы стали использовать как устройство, накапливающее и отдающее энергию. Со временем они все более и более совершенствовались. Так, в 60-х годах прошлого века компания General Electric представила миру первый двойнослойный конденсатор, который являлся в некотором роде первообразом современных ионисторов.

В 78-м году 20-го века на международный рынок фирмой Panasonic был выпущен конденсатор под названием «Gold capacitor». Данные конденсаторы позиционировались на рынке как суперконденсаторы в связи с тем, что могли запасать больше энергии и имели меньшие габариты, нежели свои предшественники.

Определение суперконденсаторов

«Конденсатор представляет собой устройство, предназначенное для накопления электрических зарядов.»¹

«Ионистором (суперконденсатором) же называют конденсатор с органическим или неорганическим электролитом, «обкладками» в котором служит двойной электрический слой на границе раздела электрода и электролита.»²

Как известно, электрическая ёмкость конденсатора зависит от площади обкладок - чем она больше, тем больше ёмкость. Для улучшения электрических параметров, электроды могут дополнительно покрывать пористым материалом.

Выделяют следующие типы суперконденсаторов по типу электрохимических реакций:

- “Идеальные”
- Псевдоконденсаторы
- Гибридные конденсаторы

“Идеальный” ионистор (ионный конденсатор) - «ионистор с идеально поляризуемыми углеродными электродами. Не используют электрохимических реакций, работают за счет ионного переноса между электродами.»² Энергия запасается за счет разделения заряда на электродах с большой разностью потенциалов.

Псевдоконденсаторы - это «ионисторы, на поверхности электродов которых при заряде и разряде протекают обратимые электрохимические процессы.»³

¹ Горячева Г.А., Добромислов Е.Р., Конденсаторы (справочник). Издательство «Радио и связь», 1984.

² Гриц В.И., Дубовой Т.В., Шестаков И.Я., Ионисторы. // Решетневские чтения. 2015. №19. С. 274-275.

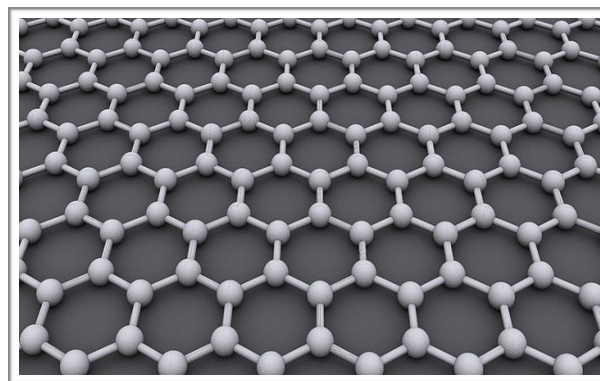
Гибридные конденсаторы - это «конденсаторы с идеально поляризуемым углеродным электродом и не поляризуемыми или слабо поляризуемыми катодом или анодом. В этом типе ионисторов на одном электроде происходит электрохимическая реакция.»³ «Электроды производятся из различных материалов, а накопление заряда осуществляется по разным механизмам, что увеличивает удельную емкость конденсатора, а также расширяет область рабочих напряжений.»⁴ Как правило, гибридные конденсаторы представляют собой нечто среднее между аккумулятором и непосредственно самим конденсатором.

Углеродные материалы, применяемые в качестве электродов

- Графен
- Активированный уголь



Структура активированного угля



Структура графена

Графен - это «двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом, которая имеет структуру кристаллической решетки.»⁵

³ В. Кузнецов, О. Панькина, Н. Мачковская, Е. Шувалов, И. Востриков. Конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы): разработка и производство. Компоненты и технологии No 6, 2005

⁴ Суперконденсаторы. Устройство и применение. Виды и работа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/superkondensatory/>

⁵ А.Г. Алексенко, Графен. Издательство Пилот, 2011

Активированный уголь - это «адсорбент - вещество с высоко развитой пористой структурой, которое получают из различных углеродсодержащих материалов органического происхождения»⁶

Как известно, «древесные угли характеризуются низкой пористостью, в то время как их структура представлена элементарными кристаллитами, разделенными многочисленными щелевидными порами. Однако, эти поры заполнены и заблокированы «неорганизованными» остатками углерода (смолой). В процессе активации происходит раскрытие закупоренных пор и развитие пористой структуры материала.»⁷

На основании данной информации было выдвинуто предположение, что путем активации пористой структуры растительного материала, можно создать более дешевый и валидный аналог.

История попыток культивирования борщевика

Heracléum Sosnówskyi (борщевик Сосновского) распространен практически по всей территории России как особо опасный сорняк, он ядовит и может вызвать сильные химические ожоги в том случае, если попадет на кожу человека, за это его и добавили в Черную книгу флоры России.

Было предпринято множество попыток найти полезное применение борщевiku Сосновского, однако попытки выращивать его в качестве кормовых культур для домашнего скота, не увенчались успехом.⁸

⁶ Активированный уголь. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://chemsystem.ru/catalog/386>

⁷ Связующие для полимерных композиционных материалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://netess.ru/3metodichki/1049328-1-moskovskiy-gosudarstvenniy-universitet-imeni-mvlomonosova-nauchno-obrazovatelny-centr-nanotekhnologiyam-himicheskij-fakult.php#1>

⁸ Мусихин П.В. Сигаев А.И. Исследование физических свойств и химического состава борщевика Сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката // Современные наукоемкие технологии. 2006. №3. С. 65-67.

«Борщевик неприхотлив, растет без особого ухода. Урожайность дикорастущего борщевика - 50 тонн на гектар, а культивируемого - 250 тонн на гектар.»⁹

На сегодняшний день борщевик как дикорастущий, так и культивируемый используют в качестве сырья для получения одного из видов современного биотоплива - биоэтанола. При этом свойства его ствола, а именно внутреннего слоя, который обладает высокой пористостью, позволяют сделать предположение, что он будет являться неплохой альтернативой использования в виде углеродных электродов для суперконденсаторов.

Методы исследования

Пиролиз - «процесс термического разложения горючих органических соединений без доступа кислорода. При нагревании исходного сырья при отсутствии кислорода сложные органические соединения расщепляются на более простые, вплоть до образования твердого углеродного остатка.»¹⁰

Спектральный анализ - это «физический метод определения состава вещества, основанный на изучении спектров испускания, поглощения, отражения и люминесценции.»¹¹

Фотоколориметрия - это «метод, основанный на определении содержания веществ в растворах по поглощению немонахроматического излучения света в видимой области спектра.»¹²

⁹ Борщевик Сосновского: злостный сорняк или возобновляемый источник энергии? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bellona.ru/2016/08/18/borshhevik-sosnovskogo-zlostnyj-sornyak-ili-vozobnovlyaemyj-istochnik-energii/>

¹⁰ Рубрика: Пиролиз. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://greenologia.ru/othody/utlizaciya-i-pererabotka/piroliz>

¹¹ Спектральный анализ и его применение при проведении экспертных исследований // Студенческий научный форум - 2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015010860>

¹² Фотоколориметрический метод [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scienceproblems.ru/fotokolorimetriceskij-metod/2.html>

Ход эксперимента

До начала эксперимента растительные образцы были тщательно очищены от грязи и пыли, внутренний слой отделили от внешнего.



Борщевик Сосновского



Собранный растительный материал



Внешний слой



Внутренний слой

Для того, чтобы определить наличие неорганических примесей в структуре борщевика Сосновского, образцы внутреннего и внешнего слоя были сожжены.

После этого пепел, оставшийся после сжигания, был отправлен на спектральный анализ. Он выявил, что внешний слой борщевика представляет собой своеобразный фильтр, который скапливает в себе посторонние элементы.

Внутренний слой содержит побочные вещества в гораздо меньшем количестве, в отличие от внешнего. Эта особенность связана со строением растения.

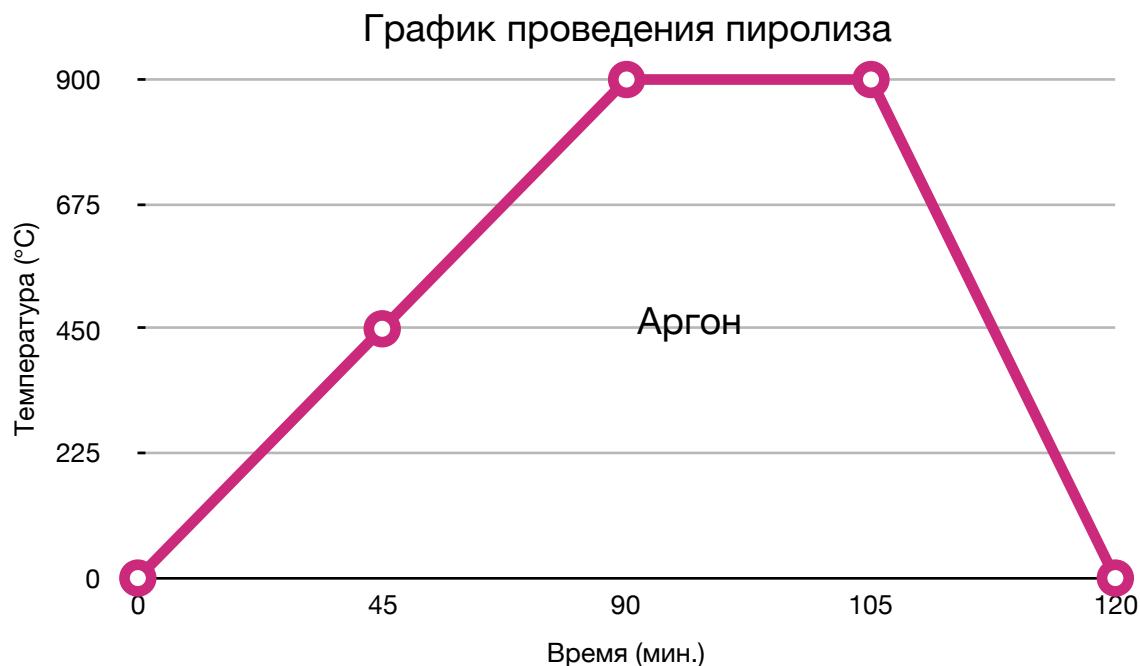
Таким образом, можно сделать вывод о том, что внутренний слой более пригоден для использования в качестве углеродных электродов в связи с тем, что содержит меньше неорганических примесей в своем составе и, соответственно, позволяет накапливать большее количество заряда.

Таблица результатов спектрального анализа

Наименование образцов	Ca	Na	K	Mg	B	P	Si	Fe	Al	Cu	Mn
Внутренний слой (%)	>10	4.5	4	0.8	0.01	0.5	0.01	0.11	0.01	0.05	0.01
Внешний слой (%)	50	>20	>10	4.5	0.1	2	0.1	0.4	0.1	0.5	0.1

После пиролиза от исходного материала остались только углеродные соединения вследствие того, что в процессе нагревания в инертном газе (аргоне) при температуре 900°C, органические соединения распались.

Затем твердые углеродные остатки, полученные в результате пиролиза, поместили в раствор метилоранжа и воды в соотношении 1:1000 и выдерживали семь суток. Через неделю жидкость с образцами внутреннего слоя борщевика, имевшая насыщенный оранжевого цвета, стала почти полностью прозрачной.



Это позволяет сделать вывод о том, что материал имеет высокие адсорбирующие свойства. Жидкость с образцами внешнего слоя цвет практически не поменяла.

После фильтрации жидкость отправили на фотоколориметрический анализ. Это было сделано для того чтобы более точно выяснить, сколько метилоранжа поглотил изучаемый материал.



Изначальный раствор



Раствор после
адсорбции внешним
слоем



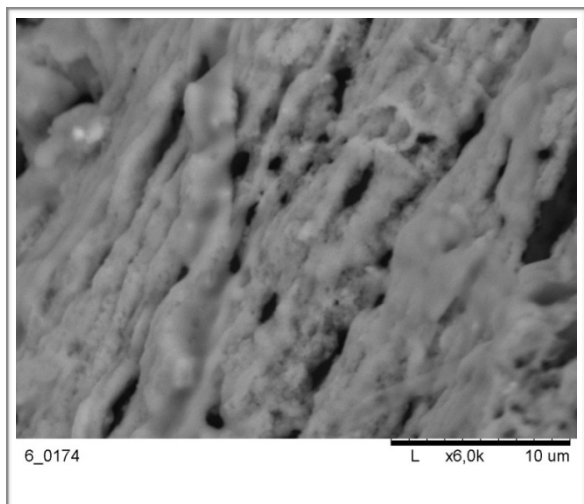
Раствор после
адсорбции
внутренним слоем

Коэффициент прохождения раствора после адсорбции внутренним слоем - 89%.

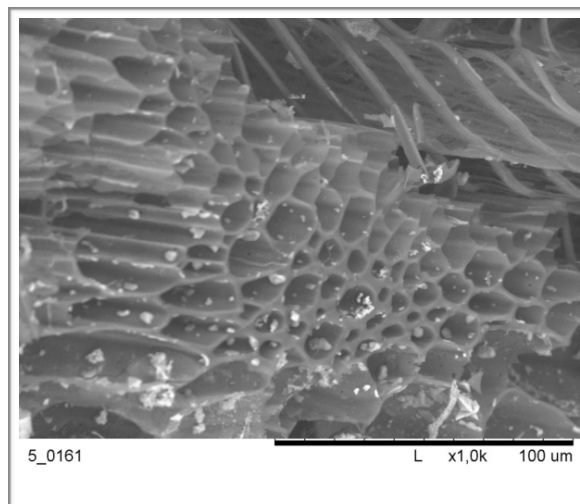
Коэффициент прохождения раствора после адсорбции внешним слоем - 37%.

После подсчетов, приблизительная площадь соприкосновения материала с электролитом составила около $1500 \text{ м}^2/\text{г}$. Для сравнения удельная поверхность графена составляет $1520 \text{ м}^2/\text{г}$, а удельная поверхность активированного угля в среднем достигает $1500 \text{ м}^2/\text{г}$.

Далее, образцы были отправлены на сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) - иначе говоря микроскоп, предназначенный для получения изображений с высоким разрешением, благодаря чему были получены макрофотографии внутреннего и внешнего слоев борщевика. Как мы можем видеть на фото внутреннего слоя, он имеет высокую степень пористости, что увеличивает его удельную поверхность, а его структура похожа на структуру активированного угля, материала часто используемого для изготовления углеродных электродов для суперконденсаторов. Вместе с тем, внешний слой такими свойствами не наделен.



Внешний слой



Внутренний слой

Таким образом, после проведенного исследования и анализа материала можно прийти к заключению, что внутренний слой стебля борщевика Сосновского может быть использован в промышленном производстве при изготовлении ионисторов наравне с ведущими современными материалами, используемыми в качестве углеродных электродов.

Заключение

Целью настоящего исследования было проведение ряда экспериментов для выяснения целесообразности использования растения вида *Heracleum Sosnowskyi* в качестве альтернативного сырья для изготовления углеродных электродов для суперконденсаторов.

В ходе исследования были решены следующие задачи, а именно: были изучены история создания суперконденсаторов, теоретические аспекты вопроса, разработаны методы исследования, собраны образцы растения для исследования и проведен эксперимент по созданию углеродного материала.

Проведенная работа позволяет сделать вывод о том, что не все части растения можно использовать для изготовления углеродных электродов. Основываясь на показателях удельной поверхности материала, полученного на основе внутреннего слоя растения вида *Heracleum Sosnowskyi*, можно прийти к заключению, что внутренний слой стебля является перспективной альтернативой использования в качестве углеродных электродов для суперконденсаторов.

Список литературы

Горячева Г.А., Добромыслов Е.Р., Конденсаторы (справочник). Издательство «Радио и связь», 1984.

Савватимский А.И., Плавление графита и свойства жидкого углерода. Издательство «Физматкнига», 2014.

Бибииков С.Б., Мальцев А.А., Кошелев Б.В., Гелиев А.В., Особенности и применение ионисторов в электротехнике // Практическая силовая электроника. Закрытое акционерное общество "ММП-Ирбис", 2016.

В. Кузнецов, О. Панькина, Н. Мачковская, Е. Шувалов, И. Востриков. Конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы): разработка и производство. Компоненты и технологии № 6, 2005.

А.Г. Алексенко, Графен. Издательство Пилот, 2011.

Гриц В.И., Дубовой Т.В., Шестаков И.Я., Ионисторы. // Решетневские чтения. 2015. №19. С. 274-275.

Суперконденсаторы. Устройство и применение. Виды и работа. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/superkondensatory/> Просмотрено: 05.05.2018.

Активированный уголь. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://chemsystem.ru/catalog/386> Просмотрено: 15.07.2018.

Мусихин П.В. Сигаев А.И. Исследование физических свойств и химического состава борщевика Сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката // Современные наукоемкие технологии. 2006. №3. С. 65-67.

Рубрика: Пиролиз. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://greenologia.ru/othody/utilizaciya-i-pererabotka/piroliz> Просмотрено: 17.08.2018.

Спектральный анализ и его применение при проведении экспертных исследований // Студенческий научный форум - 2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015010860> Просмотрено: 15.06.2018.

Фотоколориметрический метод [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scienceproblems.ru/fotokolorimetriceskij-metod/2.html> Просмотрено: 17.08.2018.

Борщевик Сосновского: злостный сорняк или возобновляемый источник энергии? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bellona.ru/2016/08/18/borshhevik-sosnovskogo-zlostnyj-sornyak-ili-vozobnovlyaemyj-istochnik-energii/> Просмотрено: 15.06.2018.

Связующие для полимерных композиционных материалов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://netess.ru/3metodichki/1049328-1-moskovskiy-gosudarstvenniy-universitet-imeni-mvlomonosova-nauchno-obrazovatelniy-centr-nanotehnologiyam-himicheskij-fakult.php#1> Просмотрено: 05.05.2018.