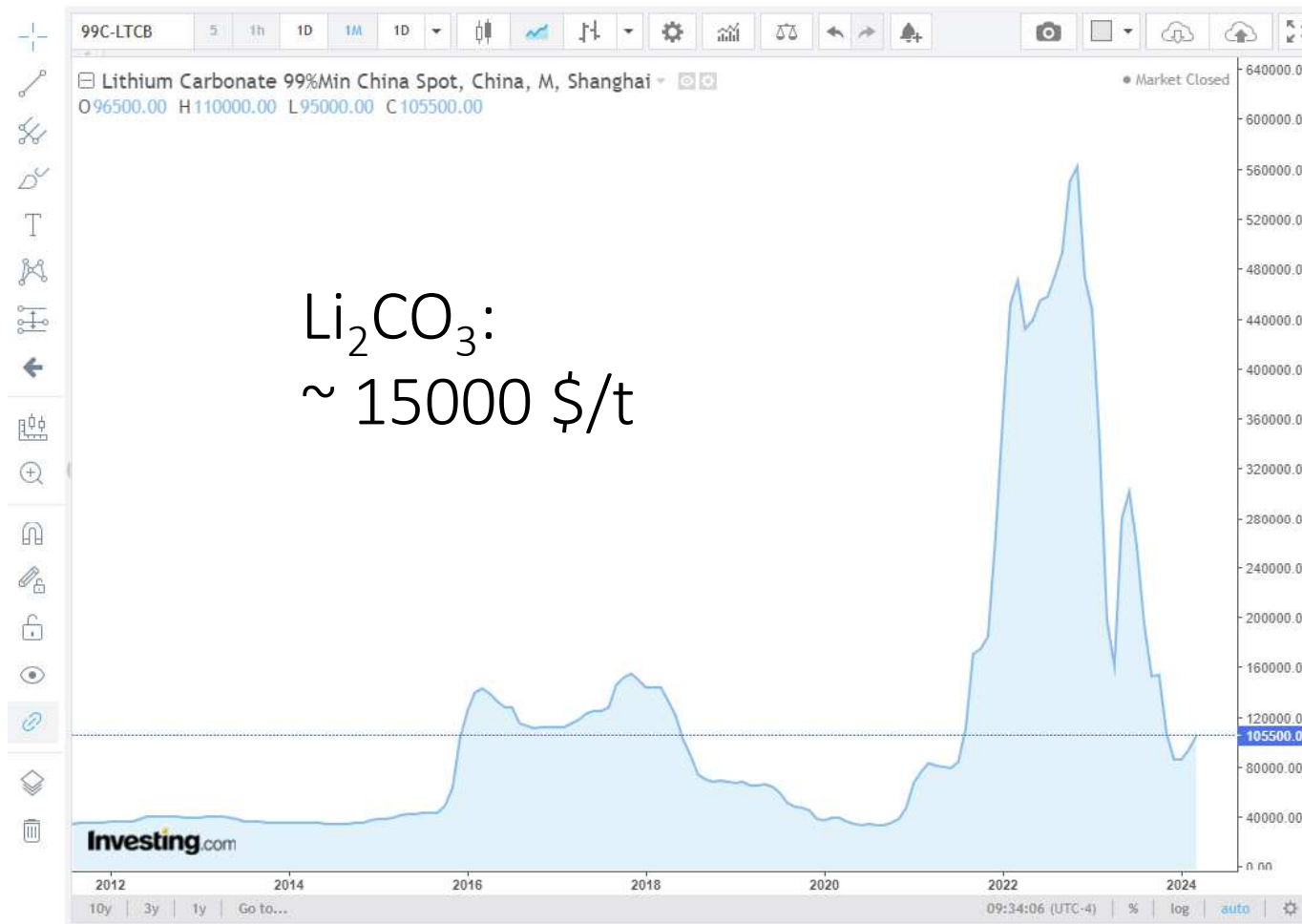


Натрий-ионные аккумуляторы: перспективы и проблемы

к.х.н., в.н.с. Дрожжин О.А.

*Химический факультет МГУ имени
М.В.Ломоносова*

Литий vs. натрий

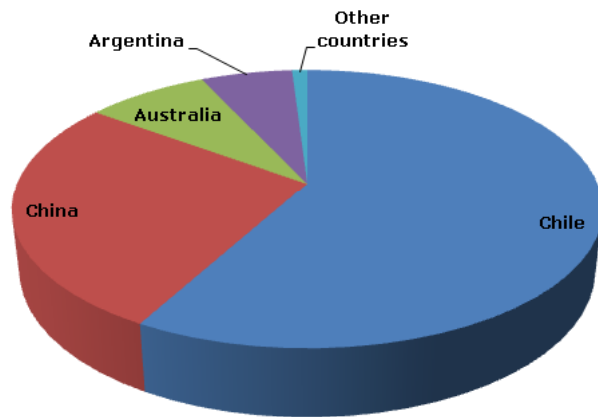


Na_2CO_3 : 200~400 \$/t

ЛИА vs. НИА

$r(\text{Li}^+) = 0.76 \text{ \AA}$ (к.ч. = 6)
 $E(\text{Li}/\text{Li}^+) = -3.04 \text{ vs. H}/\text{H}^+$

Запасы лития по странам:



$r(\text{Na}^+) = 1.03 \text{ \AA}$ (к.ч. = 6)
 $E(\text{Na}/\text{Na}^+) = -2.71 \text{ vs. H}/\text{H}^+$

Li-ion

Li в земной коре:
21 г/т



Na-ion

Na в земной коре:
25 кг/т



- Отсутствие зависимости от поставщиков сырья
- Относительно большой простор для НИР и патентования
- Al вместо Si на аноде, Fe^{3+} вместо Co^{3+} в оксидных катодах
- Возможность хранить и транспортировать при 0 В.
- Возможность использования всех технологий ЛИА

НИА: потенциальный рынок



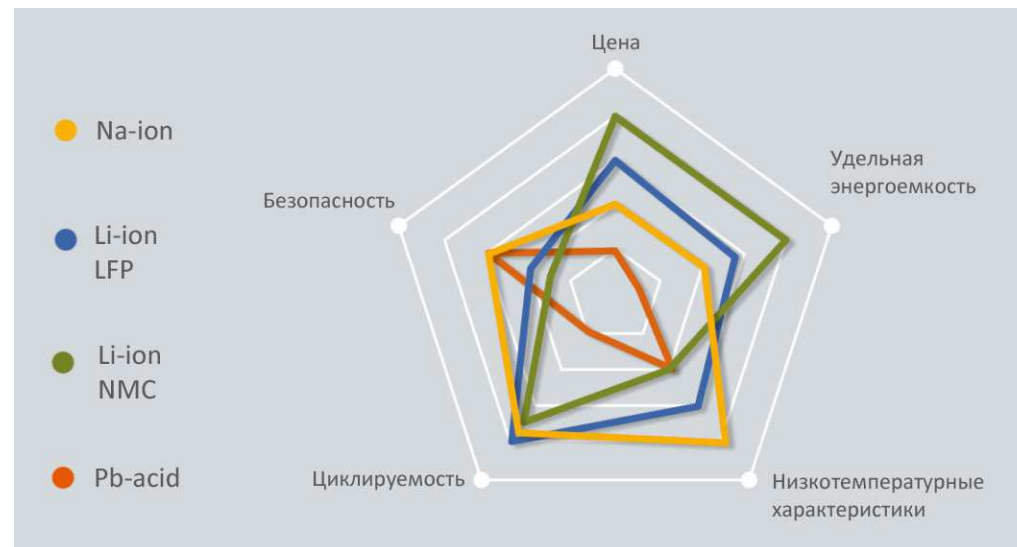
Рынок стационарного хранения энергии: 35 млрд.\$ в 2022, годовой прирост 25%



270 млрд. \$ в 2032

НИА vs. ЛИА vs. СКА

Удельная энергоёмкость НИА на 20~30% ниже, чем у ЛИА



| | Свинцово-кислотный (СКА) | Натрий-ионный (НИА) | Литий-ионный (ЛИА) |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Энергоёмкость, Втч/кг | 20-40 | 100-200 | 150-270 |
| Плотность энергии, Втч/л | 40-90 | 200-350 | 250-400 |
| Стоимость за кВтч, \$ | 50-100 | 100-150 | 150-250 |
| Число циклов до потери 20% емкости | 300~500 | 500~5000 | 500~5000 |
| Цена за рабочий цикл/кВтч, \$ | 0.2-0.4 | 0.02-0.04 | 0.03-0.05 |
| Хранение, транспортировка | В заряженном состоянии | Полностью разряженный (0 В) | В частично заряженном состоянии |
| Устойчивость к глубокому разряду | Низкая | Высокая (до 0 В) | Очень низкая |
| Ключевые элементы | Pb, Sb | Na, V*, Fe, Mn | Li, Co, Ni |

*- Россия является вторым по величине в мире производителем ванадия.

НИА: производство


2023 год: компания HiNa Battery совместно с JAC представила первый электромобиль на натрий-ионных аккумуляторах.



2024 год: BYD начала строительство фабрики НИА объемом 30 ГВтч/год. Стоимость - 1.4 млрд.\$

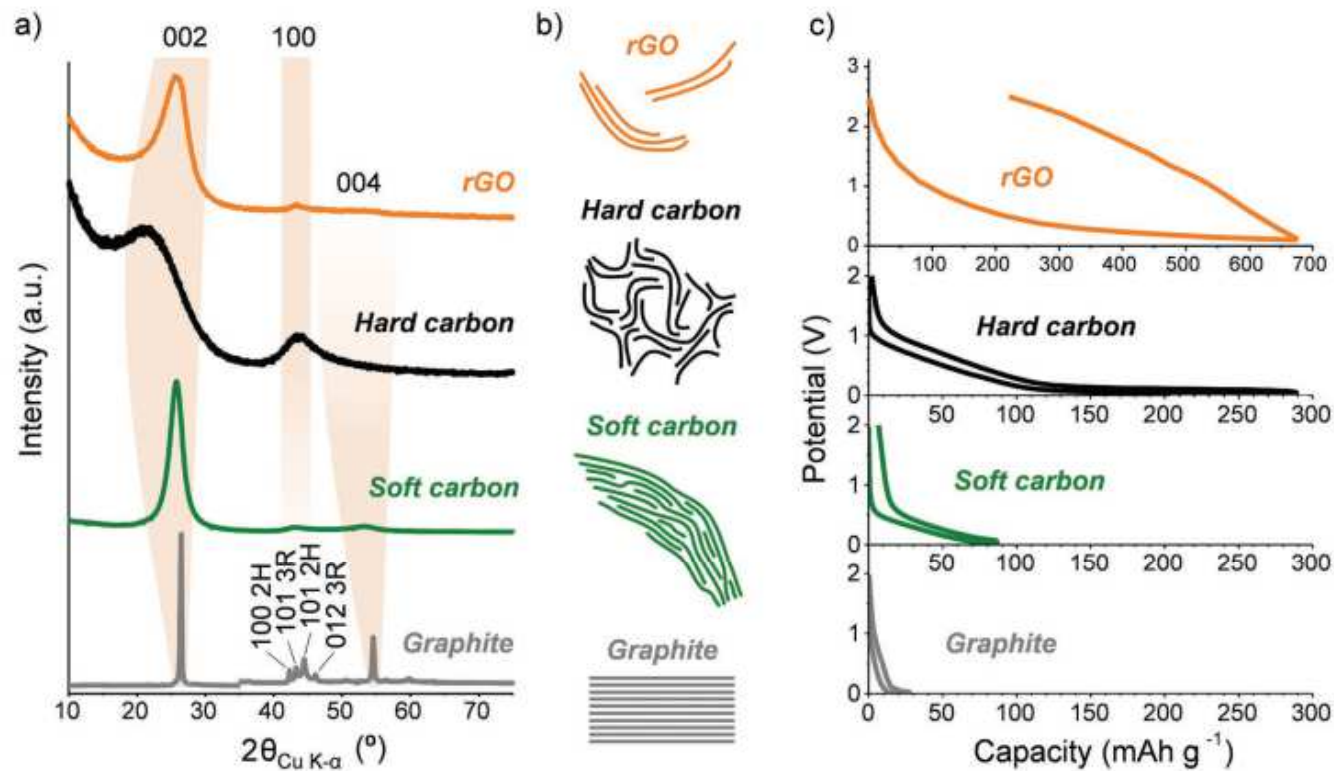


Катодные материалы НИА

| | Компания | Страна | Материал |
|---|-------------------|----------------|-------------------|
|  | Faradion | Великобритания | Оксид |
|  | HiNa Battery | Китай | Оксид |
|  | Ronbay Technology | Китай | Оксид |
|  | Tiamat | Франция | Фторидофосфат |
|  | Penghui | Китай | Фосфат |
|  | Zoolnasm | Китай | Сульфат |
|  | Novasis | США | Берлинская лазурь |
|  | Altris | Швеция | Берлинская лазурь |
|  | Natron Energy | США | Берлинская лазурь |

Выбор катодного материала обусловлен требованиями к конечному изделию и выбором приоритетов (максимальная плотность энергии/циклируемость/безопасность/дешевизна и т.д.)

Анодные материалы НИА: «твердый» углерод



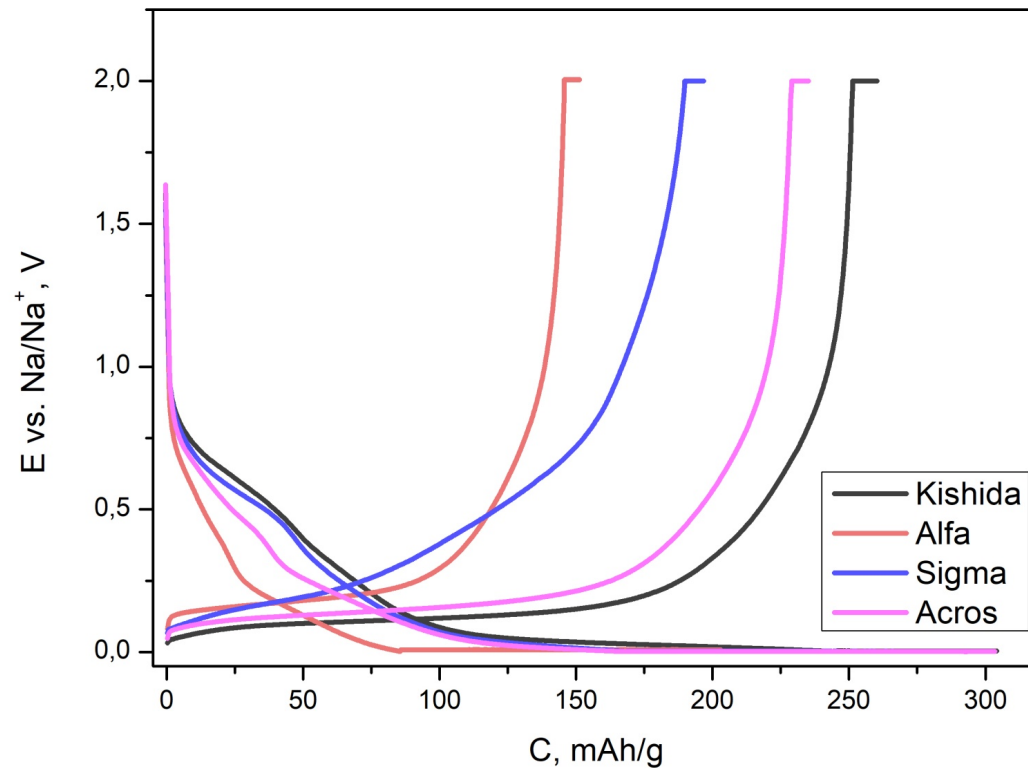
«Твердый углерод» вместо графита в ЛИА

- + Высокие емкости (~300 мАч/г)
- + Большое разнообразие прекурсоров для синтеза
- Сложно контролировать микроструктуру для получения хорошей кулоновской эффективности
- Осаждение натрия

Электролит НИА: NaPF_6 вместо LiPF_6

1-2 М растворы NaPF_6 (NaClO_4 , NaBOB , NaTFSI ...) в органических растворителях (карбонаты, эфиры, глимы...)

NaPF_6 от различных поставщиков и характеристики «твердого углерода»:



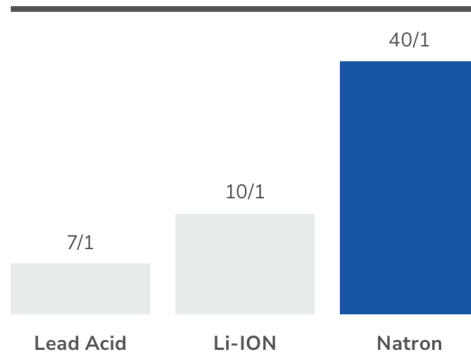
Необходимо оптимизировать качество коммерчески доступных солей либо организовывать тех. процесс производства

Электролит НИА: водная основа

Natron Energy (USA): НИА на водном электролите. Высокая мощность, длительный жизненный цикл, безопасность. Удельная энергия 20 Втч/кг

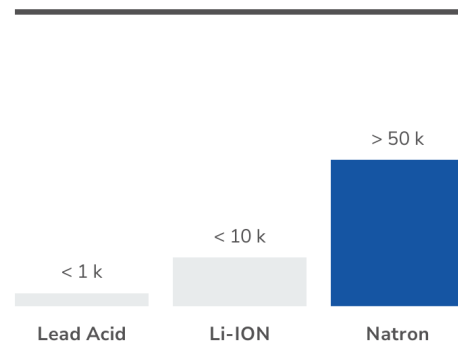
High Power

Max Sustained Power per Energy (W/Wh)



Long Life

Deep Discharge Cycle Life



Natron Energy Solutions Product Technology Company Safety Careers

BluePack™ Critical Power Battery

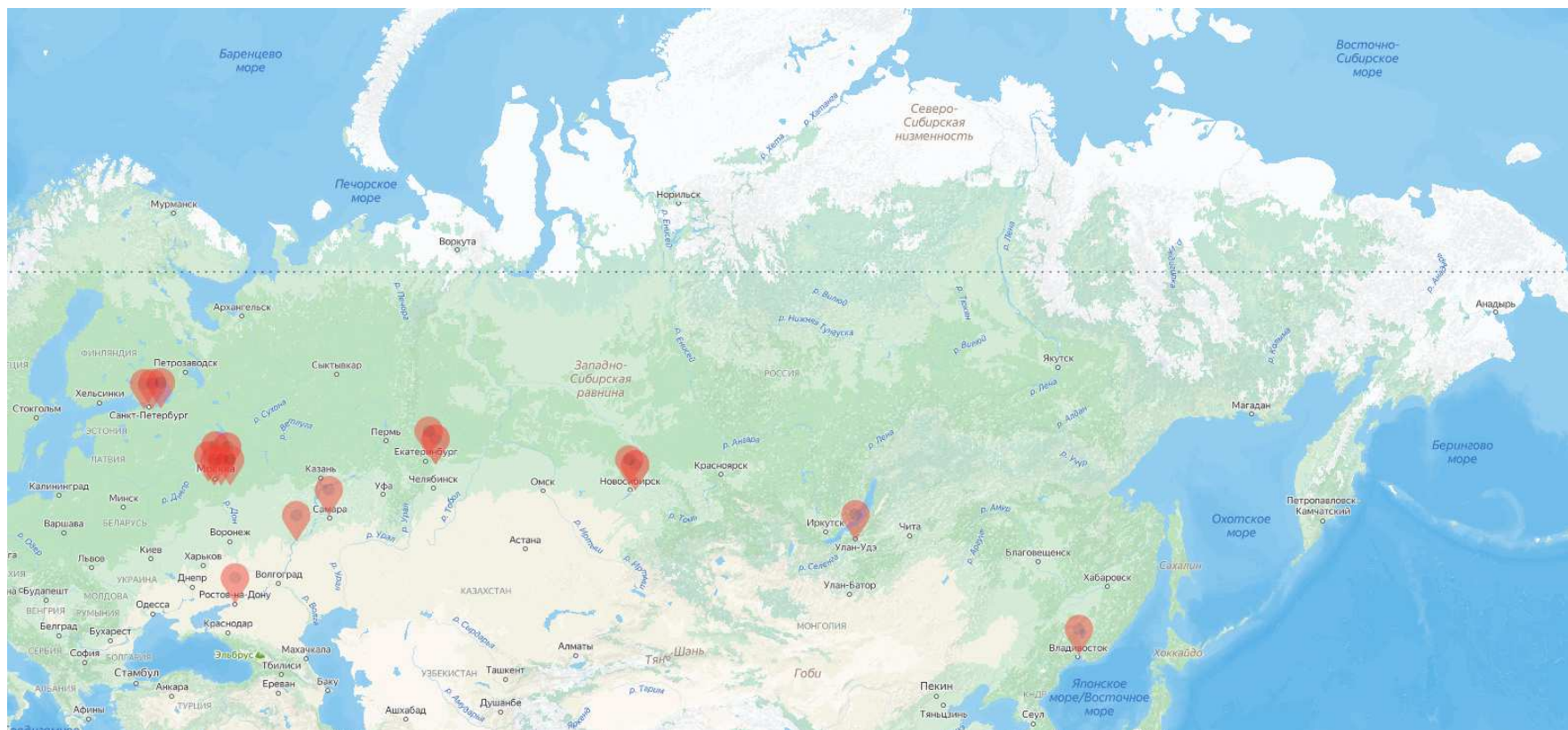
The Natron BluePack battery is a 25kW, 48 volt building block for systems up to 812 volts. Standard configurations are 10-string for 480 volt critical power applications and 14-string configuration for 672 volt industrial applications. It is designed for extremely rapid charge/discharge, providing between 50,000 & 100,000 discharge cycles depending on application. It is incapable of thermal runaway and operates at extremely wide temperature ranges. Having twice the power of lithium-ion, it's a safer alternative that is also responsibly and ethically sourced. This battery is designed for applications including Data Centers, UPSs, Telecom, EV Fast Charging, Fuel Cells, Motive/GSE, Industrial Power/Decarbonization, Grid Services – Peak Shaving, Dark Starting, Grid Forming, etc.

Specs at a glance

- Applications from 48v to 812v
- Designed for backup power, EV fast charging, decarbonization and peak shaving
- Full recharge capability in 15 minutes or less, ready immediately

Натрий-ионные аккумуляторы в РФ

Исследования НИА в РФ



nature
COMMUNICATIONS

cm CHEMISTRY OF
MATERIALS

ACS APPLIED
ENERGY MATERIALS

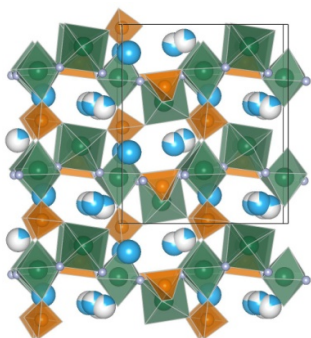
ECS The Electrochemical Society
Advancing solid state & electrochemical science & technology

JOURNAL OF
POWER
SOURCES

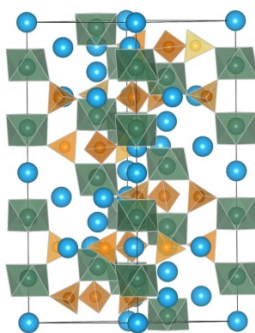
ACS APPLIED MATERIALS
& INTERFACES

Journal of the International Society of Electrochemistry
*Electrochimica
Acta*

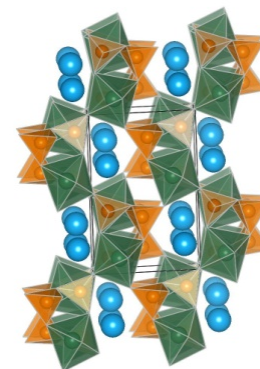
Исследования НИА в РФ



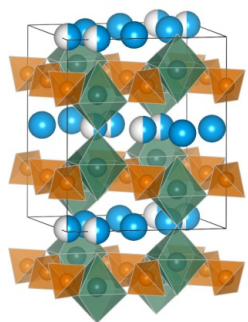
KTP- NaVPO_4F



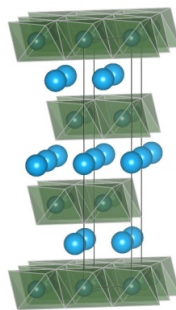
NASICON-type
 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$
 $\text{NaNb}(\text{PO}_4)_3$



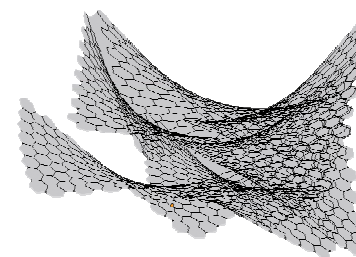
$\beta\text{-NaVP}_2\text{O}_7$



$\text{Na}_3(\text{VO})_2(\text{PO}_4)_2\text{F}$



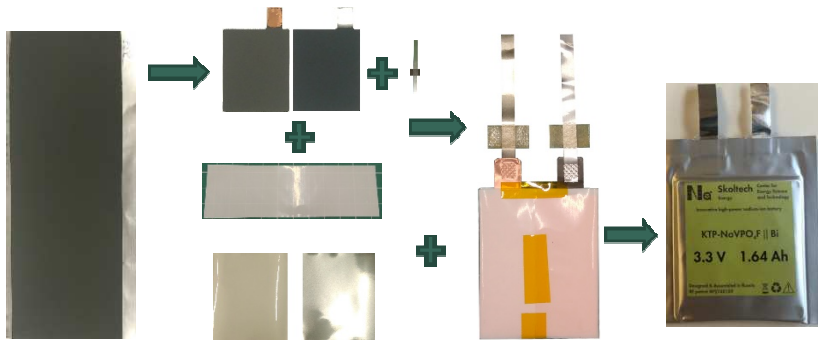
$\text{Na}(\text{Ni},\text{Fe},\text{Mn})\text{O}_2$



«Твердый» углерод

МГУ + Сколтех: на сегодняшний день предложены составы и масштабируемые способы получения ряда катодных (NaVPO_4F , $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$, $\beta\text{-NaVP}_2\text{O}_7$, $\text{Na}_3(\text{VO})_2(\text{PO}_4)_2\text{F}$, $\text{Na}(\text{Ni},\text{Fe},\text{Mn})\text{O}_2$) и анодных («твердый углерод», металлические сплавы, фосфаты со структурой NASICON) материалов.

Прототипирование НИА: МГУ + Сколтех



Проводится оптимизация:

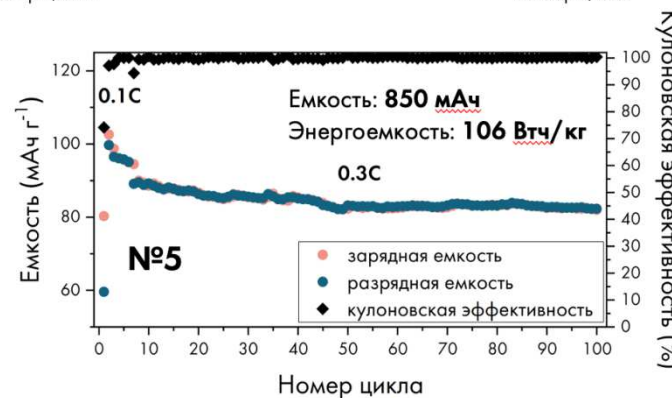
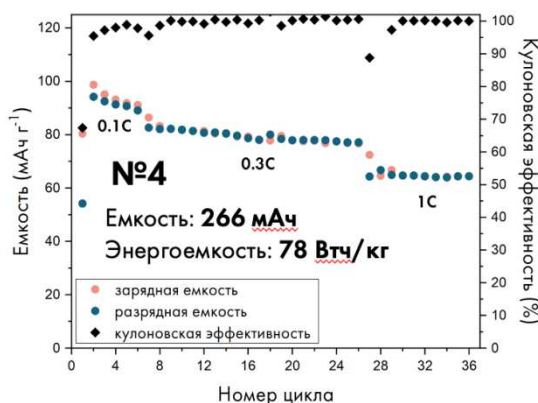
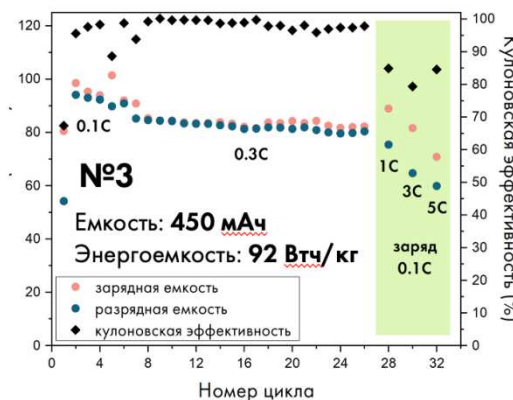
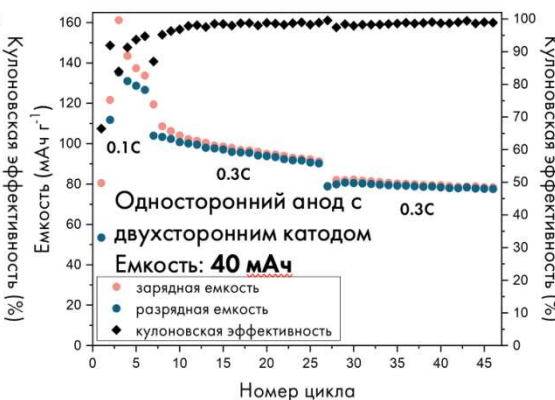
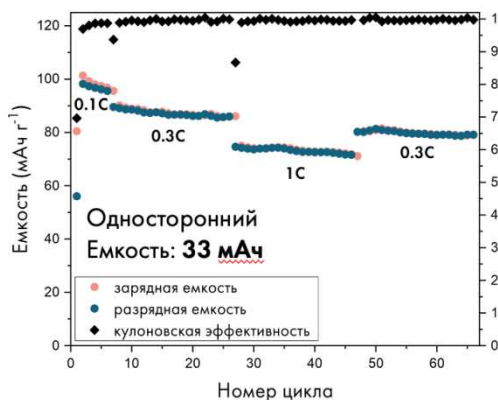
- Способов приготовления и нанесения электродной массы для получения 2-4 мАч/см² на электродах
- соотношения катод/анод
- режима заряда-разряда
- состава электролита



Прототипы pouch cell «NVPF – «твердый углерод»»



Первый цикл 0.1C с зарядом на 70%, затем 5 обычных циклов 0.1C
Расчет энергоемкости произведен на основе 5 цикла



Прототипы демонстрируют хорошие рабочие характеристики, хотя требуется дальнейшая отработка состава электродов, условий нанесения, количества электролита и т.д.



ЭРАНАТРИЯ







| Евгений Щадилов | Олег Дрожжин | Станислав Федотов | Артем Абакумов | Евгений Антипов | Олег Дьяченко |
|---|---|--|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |

Цель: разработка промышленных технологий получения материалов для НИА и прототипов НИА на их основе для мобильного и стационарного хранения энергии с перспективой дальнейшей коммерциализации и организации пилотного производства.

Благодарность

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Максим Захаркин | Зоя Бобылёва | Виталий Шевченко | Григорий Лакиенко | Анастасия Ябланович | Яна Султанова | Татьяна Перфильева |
|  |  |  |  |  |  |  |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Анатолий Волков | Ольга Шматова | Евгений Назаров | Никита Лучинин | Семен Шраер | Михаил Агапкин | Булат Мацаев |
|  |  |  |  |  |  |  |



Российский
научный фонд

Спасибо за внимание!