

[www.ioffe.ru](http://www.ioffe.ru)



**Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе**

**Обзор современного уровня промышленных литий-ионных аккумуляторов**

**В.В. Жданов**

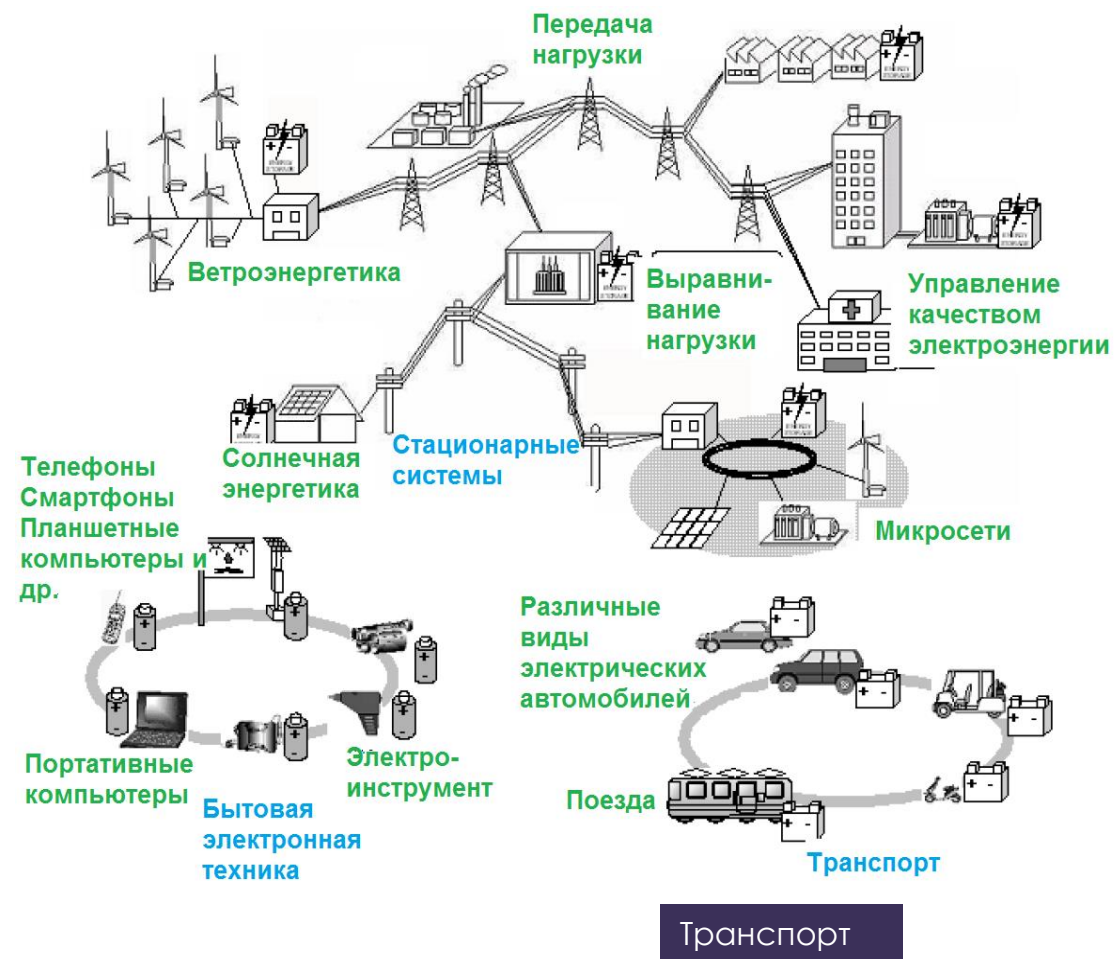
**[v\\_zhdanov@list.ru](mailto:v_zhdanov@list.ru)**

## Конкурентные преимущества литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) перед аналогами при создании накопителей электрической энергии (НЭЭ)

- высокая удельная энергия;
- высокая удельная мощность;
- большое количество зарядно-разрядных циклов;
- высокая сохранность заряда;
- безуходность, простота обслуживания и эксплуатации;
- конкурентная стоимость Вт•часа.

# Области применения накопителей электрической энергии на базе литий-ионных аккумуляторов

## Энергетика



Сетевая и возобновляемая энергетика;

Электрические транспортные средства;

Портативные средства связи, компьютеры и др.

Связь, ПК, электроника



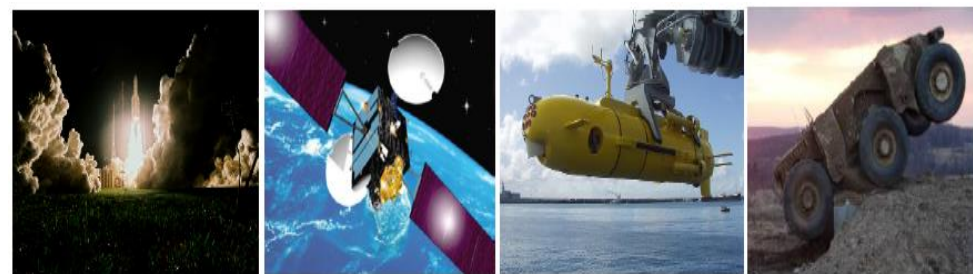
## Специальная техника

Наземная и подводная робототехника;

Пилотируемая и беспилотная авиация;

Ракетно-космическая техника;

Источники бесперебойного питания специальных объектов.

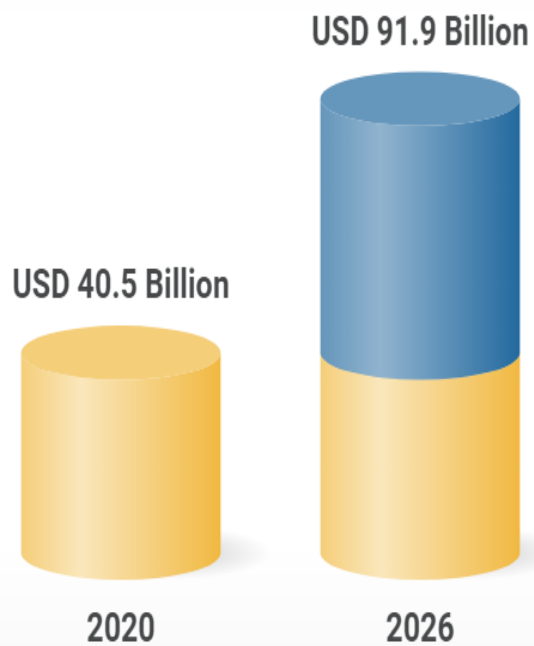


## Транспорт

# Динамика роста и структура мирового рынка литий-ионных аккумуляторных батарей

## Global Lithium Ion Battery Market

Market forecast to grow at a CAGR of 14.6%

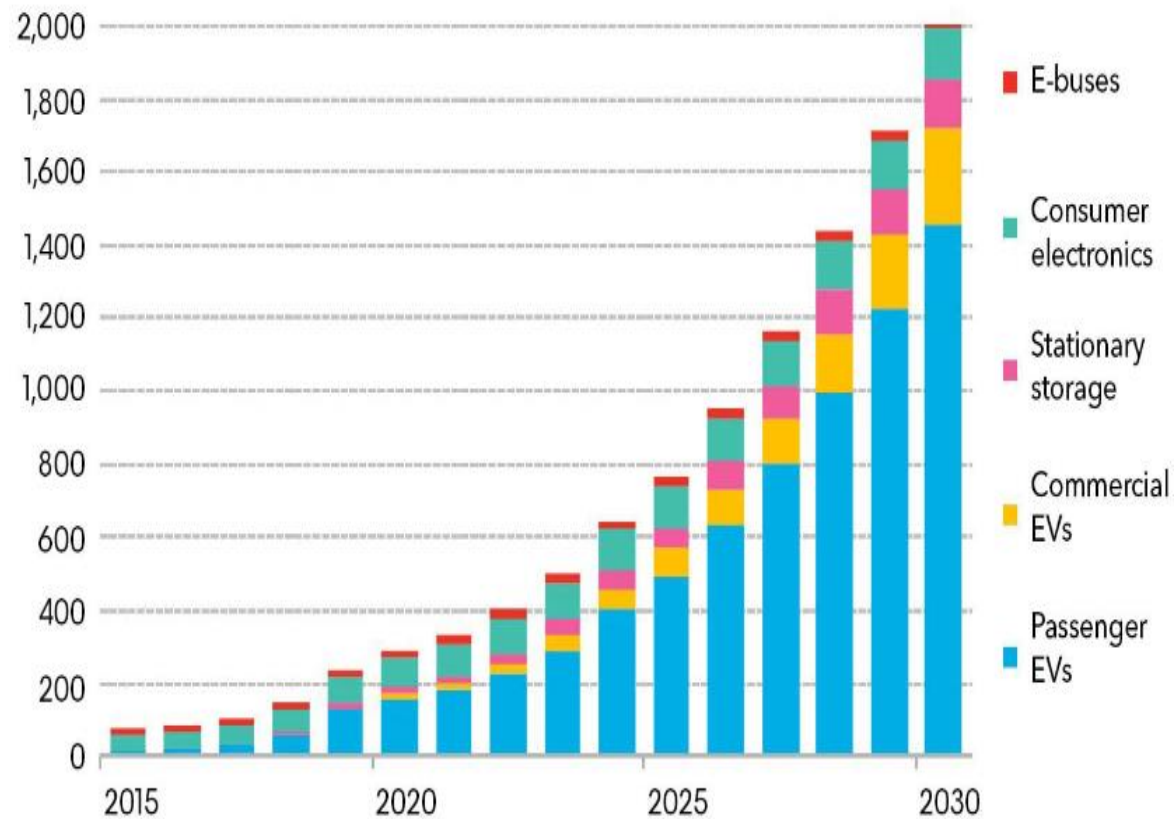


<https://www.researchandmarkets.com/reports/5308805>

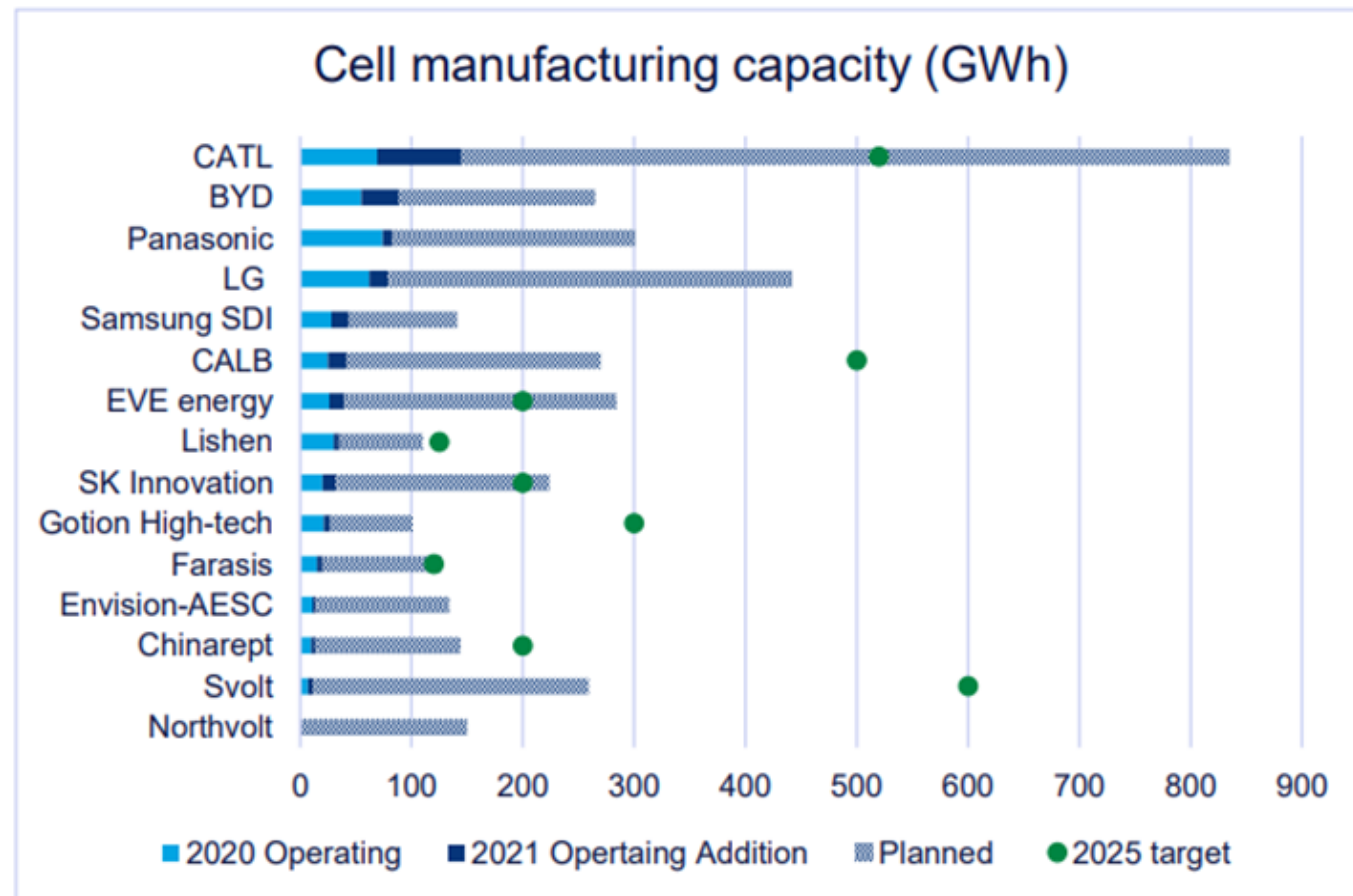
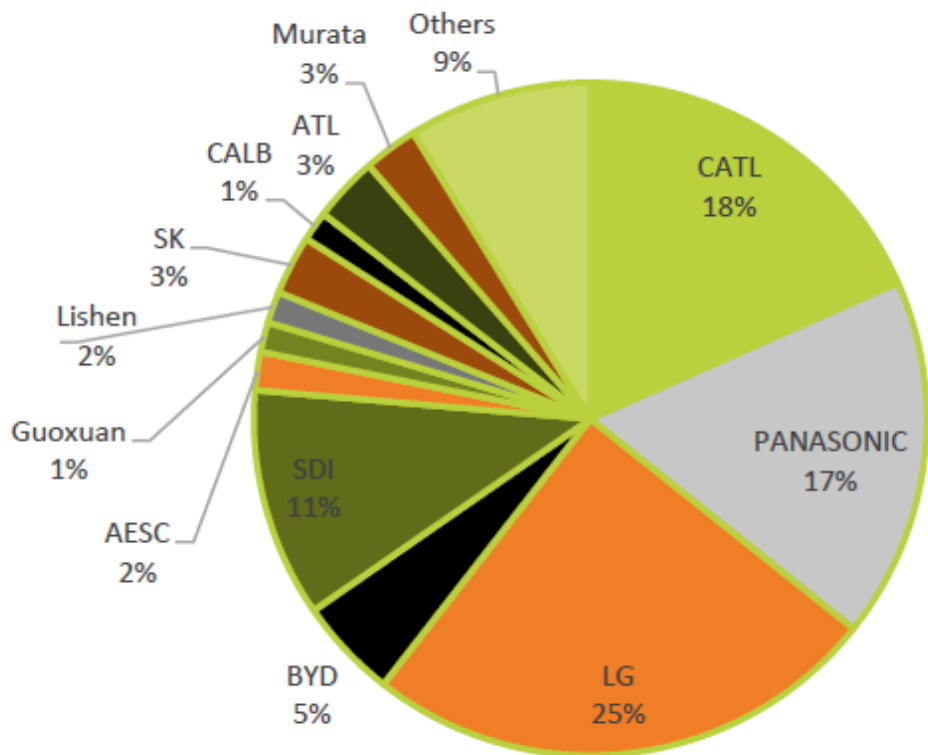
**RESEARCH AND MARKETS**  
THE WORLD'S LARGEST MARKET RESEARCH STORE

## Annual lithium-ion battery demand

GWh



# Рост объемов производства литий-ионных аккумуляторов у ведущих производителей (245 ГВтч в 2020 г.)



Источник: Avicenne Energy 2021

<https://www.energy-storage.news/lfp-to-dominate-3twh-global-lithium-ion-battery-market-by-2030/>

## Требования потребителей определяют технические характеристики литий-ионных аккумуляторов

### **Высокоэнергоемкие (HE)**

Средняя скорость разряда  $0,1 \div 0,5$  С (от 0,5 часа и более).

*Применение: средства связи, ноутбуки, робототехника, электромобили и гибридные автомобили (BEV, PHEV), накопители электроэнергии в возобновляемой энергетике и др.*

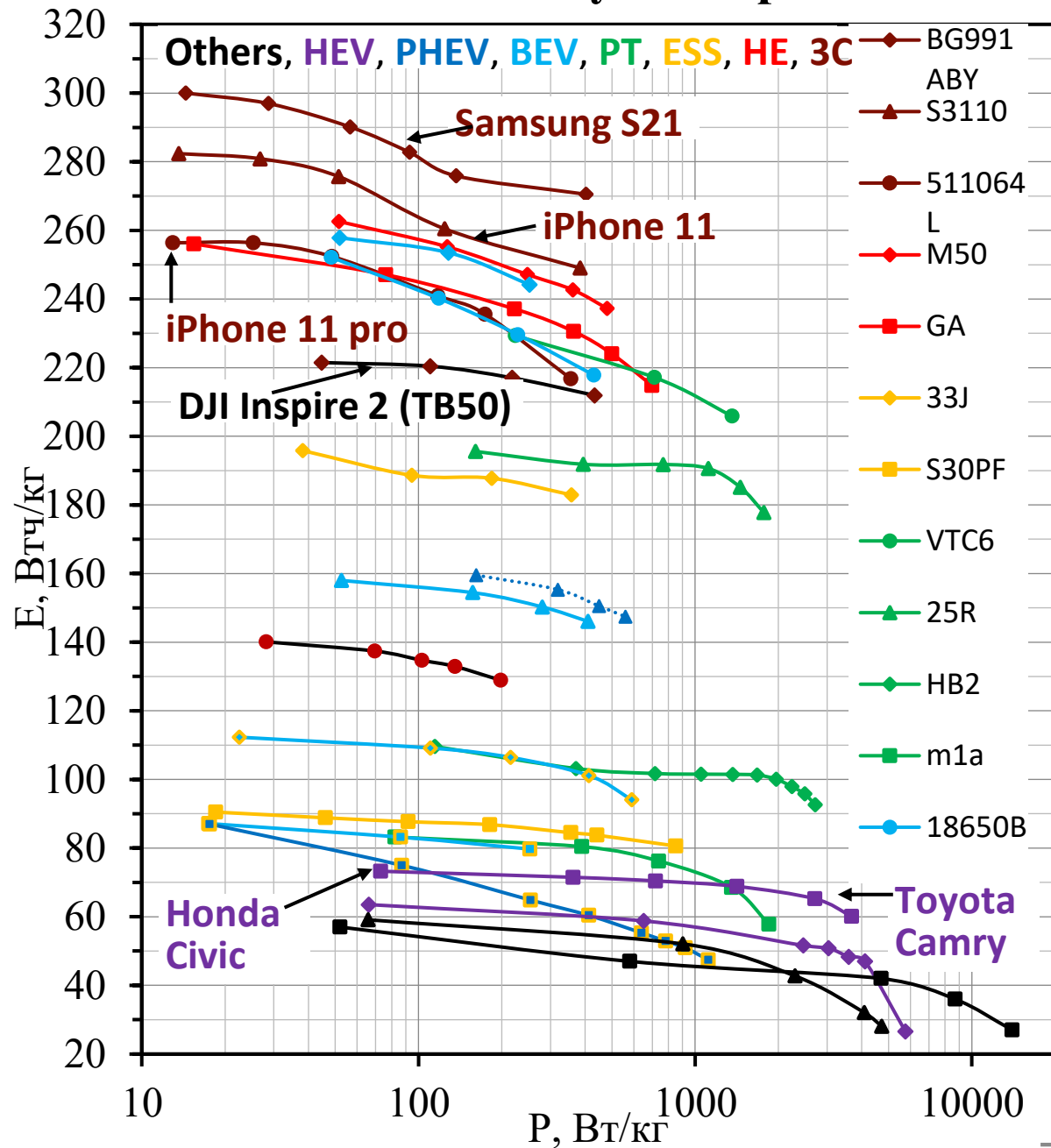
### **Высокомощные (HP)**

Способны разряжаться большими токами до  $10 \div 20$  С и более (от 3 - 6 минут и менее).

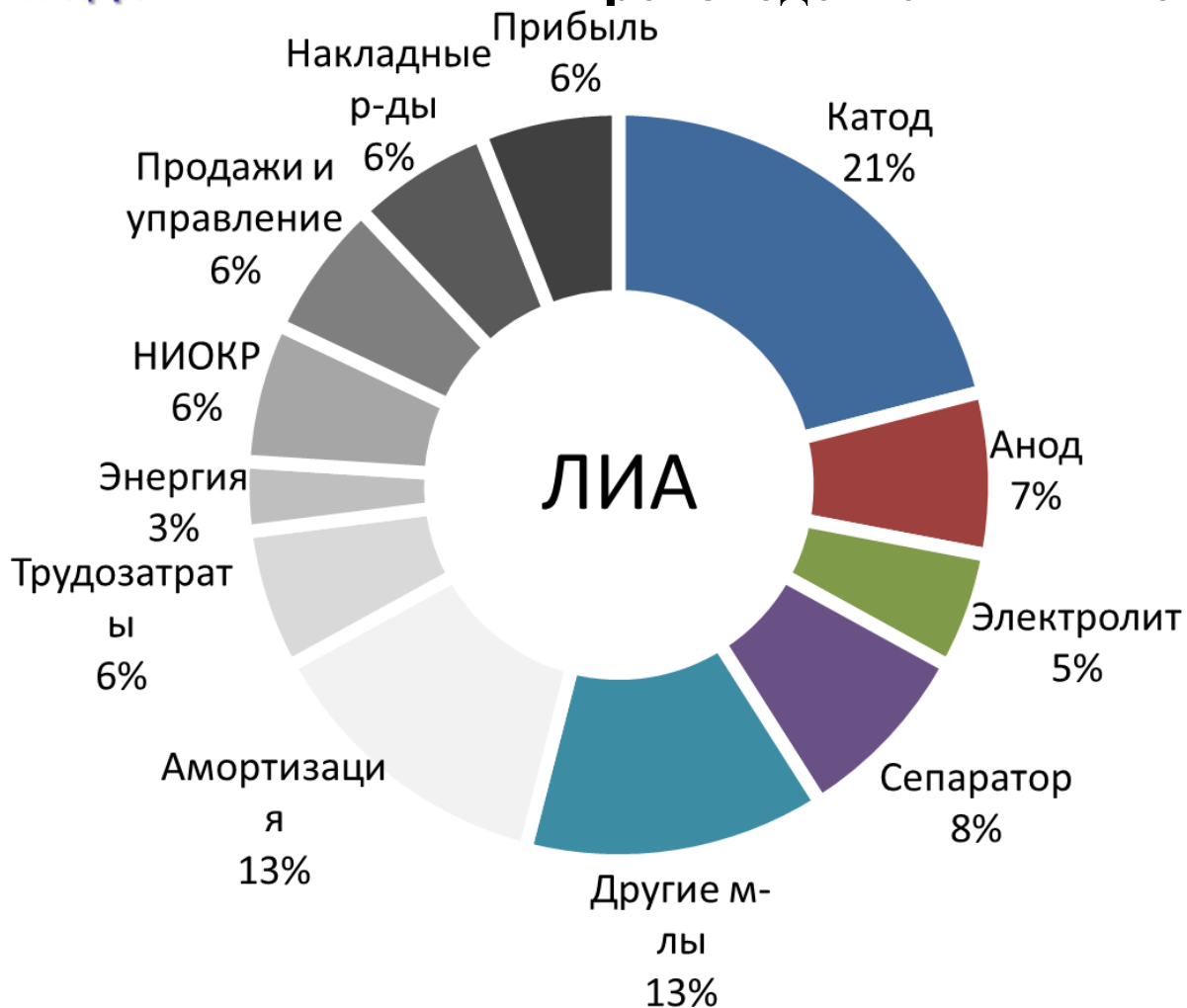
*Применение: электроинструмент, гибридные автомобили (HEV), ИБП, сетевая энергетика и др.*

# Зависимость удельной энергии от мощности ЛИА ведущих производителей для различных применений

Применение	Обозначение	Производитель	Марка	C, Ач
Смартфоны	BG991ABY	ATL/Samsung	BG991ABY	3,88
	S3110	Sunwoda	–	3,11
	511064L	Sunwoda	ICP5/110/64	3,97
HE 18650 21700	M50	LG	INR 21700M50	5
	GA	Panasonic	NCR18650GA	3,35
НЭЭ, ИБП	33J	SDI	INR21700-33J	3,25
	S30PF	Saft	VL30P Fe	30
Электроинструмент	VTC6	Sony	US18650VTC6	3,1
	25R	SDI	INR18650-25R	2,5
	HB2	LG	LG 18650 HB2	1,5
	m1a	A123	18650 M1A	1,1
BEV	18650B	Panasonic	NCR18650B	3,35
	L59	LG	–	59
	A33	AESC	33 Ah	33
	L50	LEJ	LEV50N	50
PHEV	T20	Toshiba	SCiB™	20
	L26	LG	–	26
PHEV	B50	BYD	FV50NP	50
	P4	PEVE	–	4,1(3,6)
HEV	B5	BEC	EH5	5,0
	Другие	A4,28	ATL	914974
P8,9		Prologium	PLCB	8,9
VL5U		Saft	VL5U	5
VL10V		Saft	VL10V Fe	10



# Распределение затрат в промышленном крупносерийном сборочном производстве литий-ионных аккумуляторов



**Доля материалов в стоимости ЛИА при серийном производстве более 50%**

**Амортизация оборудования в стоимости ЛИА около 15%**

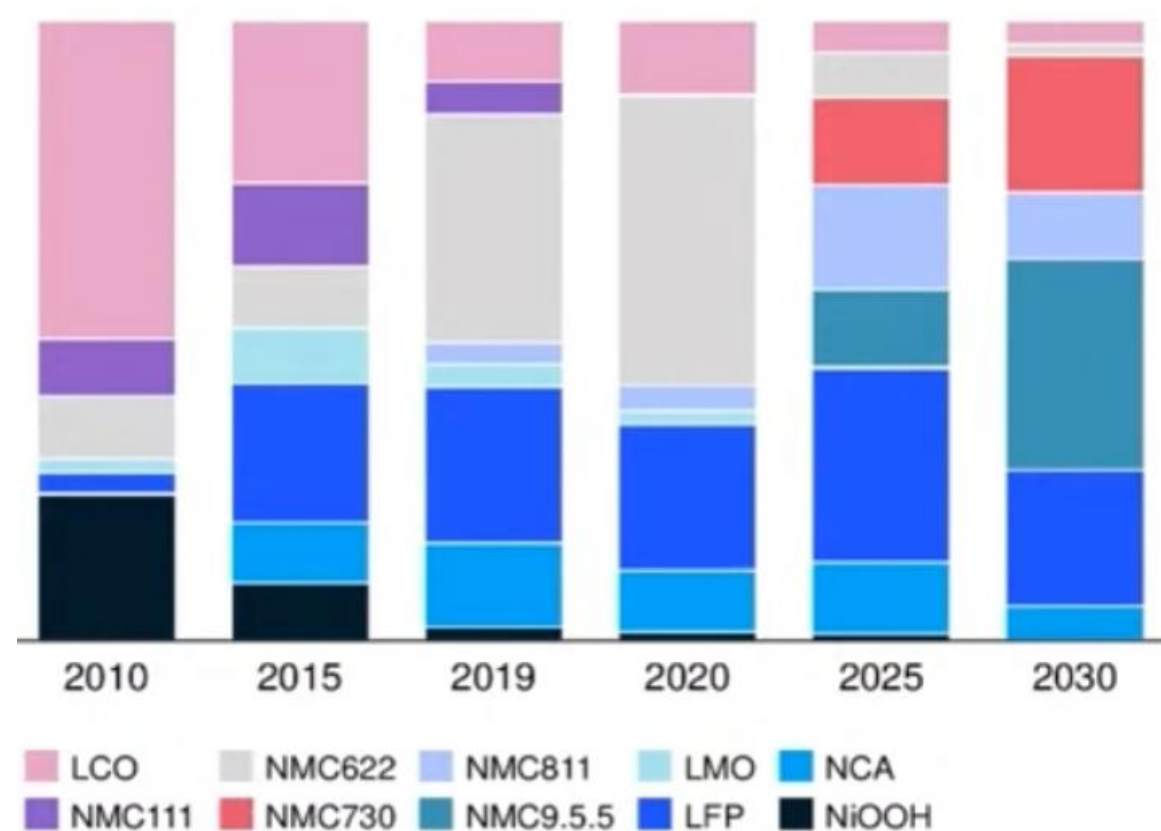
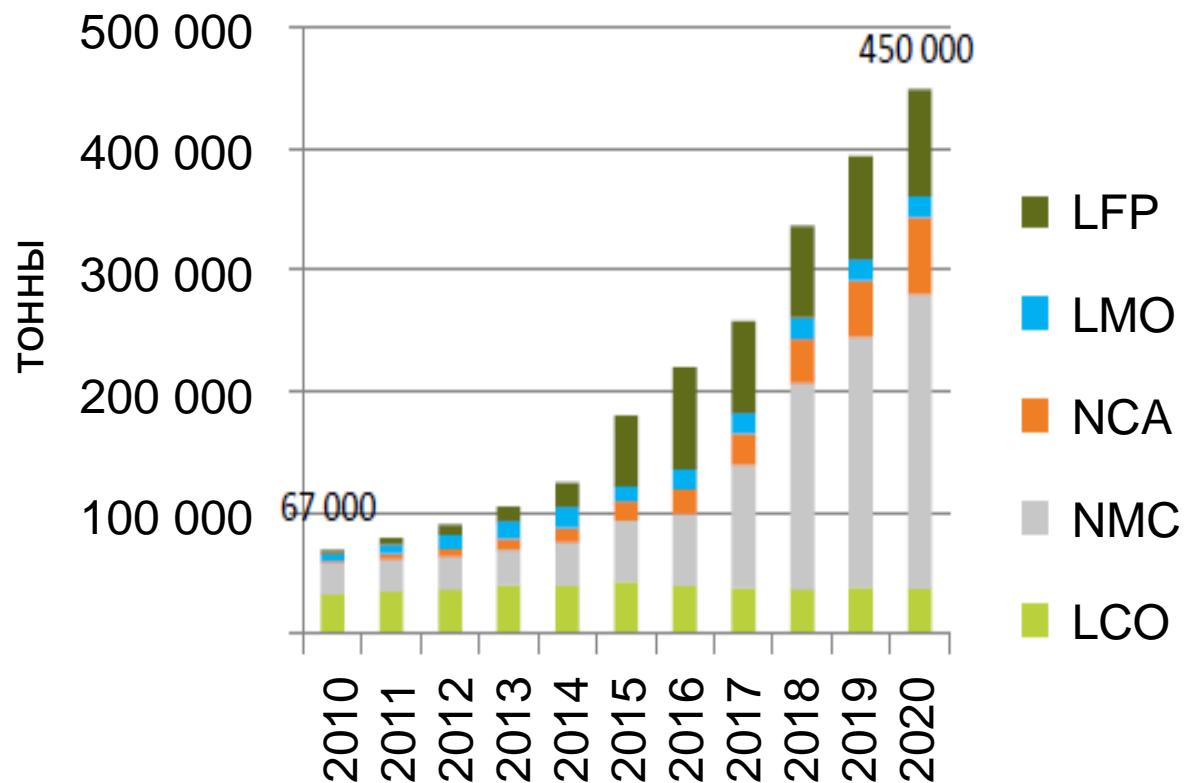
*Для крупносерийного сборочного производства литий-ионных аккумуляторов рентабельность определяющим образом зависит от стоимости и качества потребляемых материалов и технологического оборудования*



## Перечень основных материалов, используемых при изготовлении литий-ионных аккумуляторов

Положительный электрод	Активный катодный материал	$\text{LiCoO}_2$ (LCO), $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ (LMO), $\text{LiFePO}_4/\text{C}$ (LFP), $\text{Li}_{1+x}\text{Ni}_a\text{Co}_b\text{Mn}_c\text{O}_{2-x}$ $0 < x < 0,05$ , $a+b+c=1$ , обозначается как NCM (A:B:C), где $a=A/(A+B+C)$ , $b=B/(A+B+C)$ , $c=C/(A+B+C)$ . NCM (1:1:1) = $\text{Li}_{1+x}\text{Ni}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{O}_2$ , $\text{LiNi}_e\text{Co}_f\text{Al}_g\text{O}_2$ $e+f+g=1$ ; $0,8 < e < 0,92$ , $0,015 < g < 0,05$
	Связующее	Поливинилиденфторид (ПВДФ)
	Проводящая добавка	Технический углерод, ацетиленовая сажа, графит, углеродные волокна
	Алюминиевая фольга	10-25 мкм, 3003, 1070, 1085 и др., могут быть покрыты функциональным слоем.
Отрицательный электрод	Активный анодный материал	Искусственный графит (AG), натуральный графит, покрытый углеродом (NG-core), графитируемый углеродный материал (Soft Carbon), неграфитируемый углеродный материал (Hard Carbon). Мезофазный углерод (Mesophase carbon microbeads, МСМВ, графит или неграфитированный углерод), $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$ , $\text{Si}(\text{SiO})/\text{C}$ композит, $\text{Sn}/\text{Co}/\text{C}$ .
	Связующее	Карбоксиметилцеллюза (СМС)+ стиролбутадиеновый каучук (SBR), латекс, ПВДФ
	Проводящая добавка	см. положительный электрод
	Медная фольга	6-20 мкм, электролитическая или катанная
Электролит		1-1,5M $\text{LiPF}_6$ в смеси этиленкарбоната (EC), пропиленкарбоната (PC), диметилкарбоната (DMC), этилметилкарбоната (EMC) и др. добавки: соли лития и органические вещества (виниленкарбонат (VC), фторэтиленкарбонат (FEC) и др.
Сепаратор		Пористые плёнки полиэтилена (PE), полипропилена (PP), PP/PE/PP, которые могут быть покрыты частицами оксида алюминия, бемитом, плёнкой ПВДФ, целлюлозный сепаратор и др., толщина 7-40 мкм в зависимости от применения.

# Катодные материалы



Рыночные доли различных катодных материалов

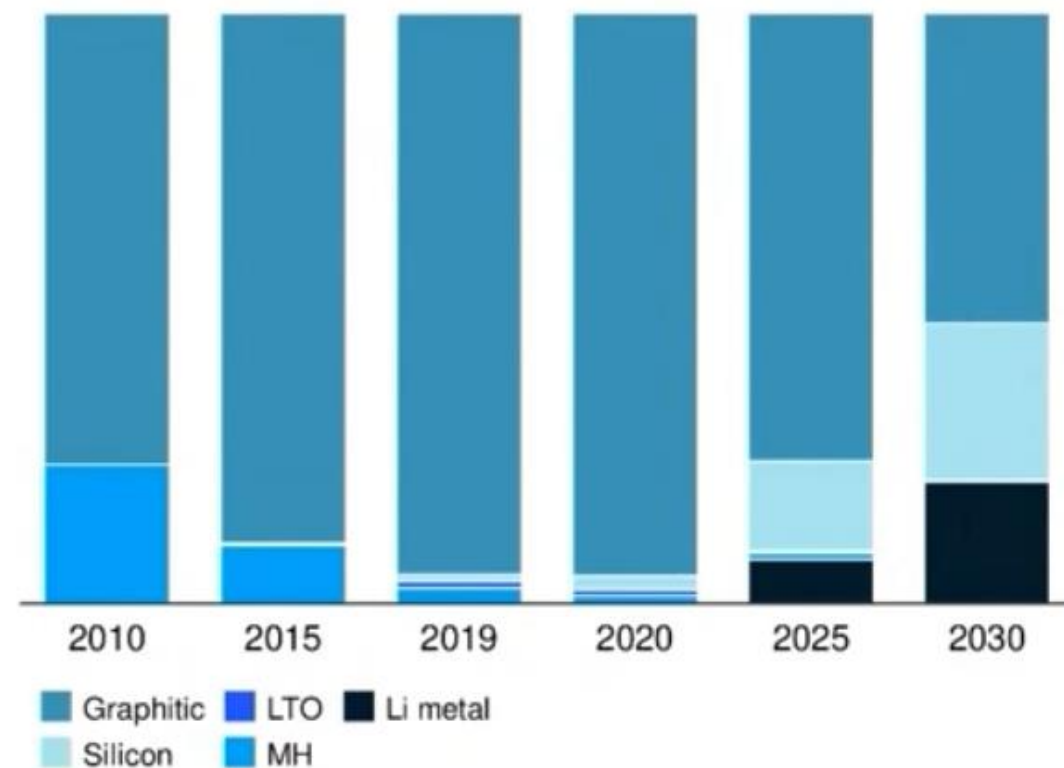
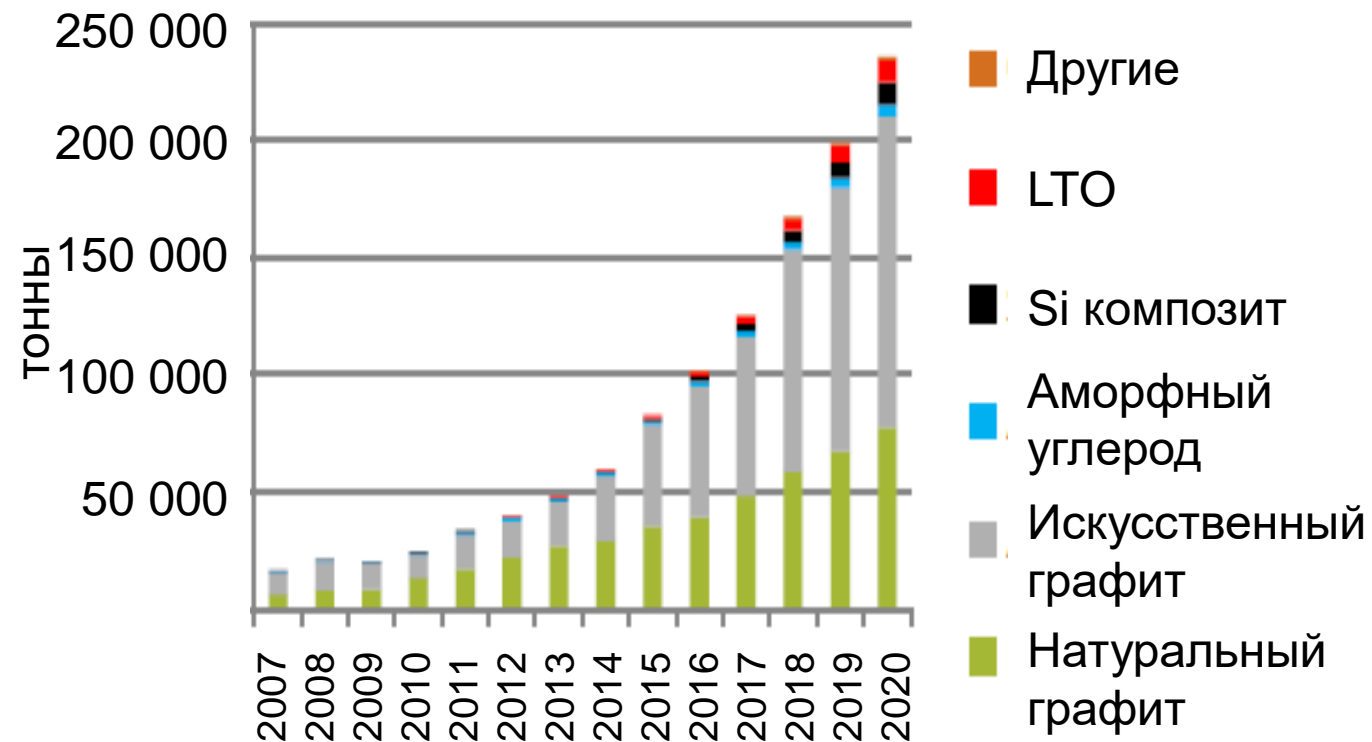
**LEADERS:**

**NEW ENTRANTS ON THE FIELD:**

Источник: Avicenne Energy 2022

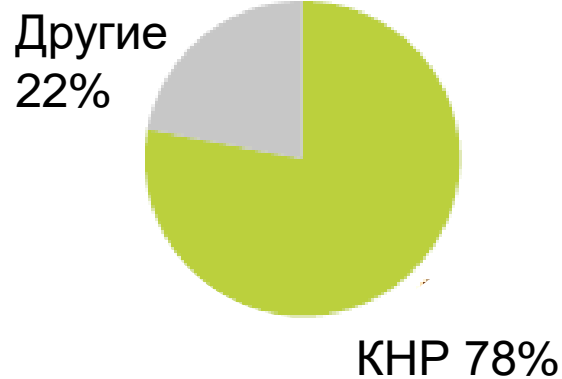
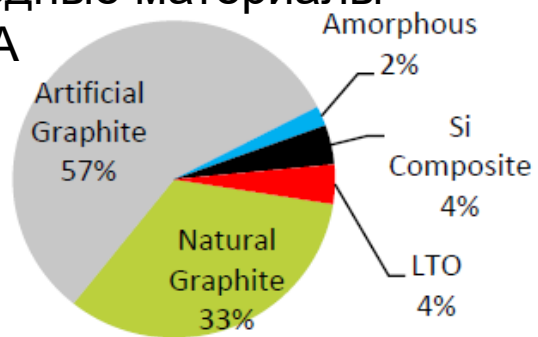
Источник: McKinsey&Wood, 2022

# Анодные материалы



Si – композиты, включающие кремний

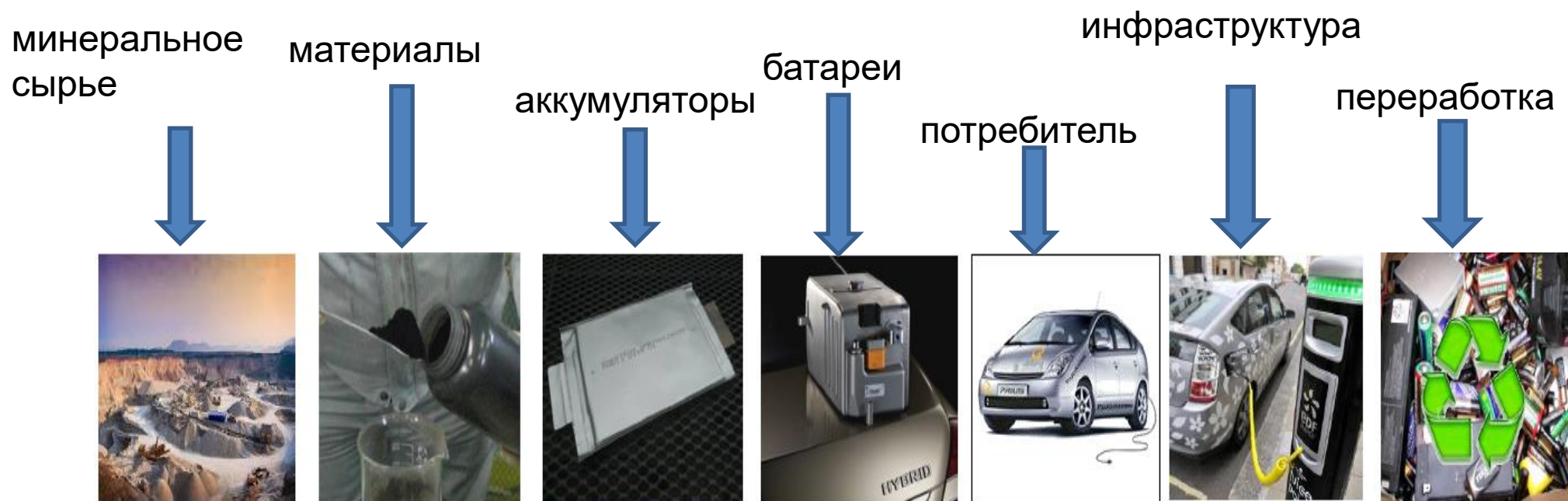
## Анодные материалы ЛИА



Источник: Avicenne Energy 2022

Источник: McKinsey & Wood, 2022

## Формирование структуры рыночной стоимости литий-ионных батарей в течение полного жизненного цикла



- *Россия является одним из мировых лидеров по запасам минерального сырья используемого в производстве ключевых материалов для литий-ионных аккумуляторов (никель, алюминий, медь, углеводороды, графит, литий и т.д.), однако производство ключевых материалов практически отсутствует.*

## Заключение

- Мировое производство накопителей электрической энергии на базе литий-ионных аккумуляторов растет опережающими темпами, не имея в настоящее время конкурентных альтернатив, кроме свинцово-кислотных аккумуляторов.
- Ведущие страны (Китай, Япония, Корея и др.) создают производственные мощности с опережением. В основе развития индустрии преимущественно лежит экспортная модель развития производства материалов, литий-ионных аккумуляторов, накопителей электрической энергии и технологического оборудования для их производства.
- Для создания, конкурентных по цене и качеству зарубежным, отечественных производств литий-ионных аккумуляторов в гражданском секторе, необходимо опережающее создание производств ключевых материалов для их производства с опорой на использование отечественного сырья и открывающиеся возможности экспорта отечественных материалов для литий-ионных аккумуляторов на быстро растущий мировой рынок производства накопителей электрической энергии.

**Благодарю за внимание!**