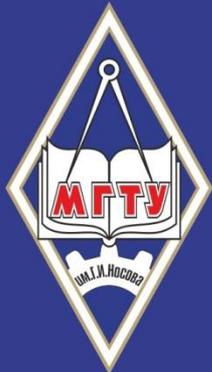


Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА
ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ ВНУТРИ ПРЕДПРИЯТИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ)**



Пыталев Иван Алексеевич
профессор, доктор технических наук

Екатеринбург 2026



МГТУ
МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА

Горнодобывающая отрасль в экономике России (все виды полезных ископаемых)

2



10-12% ВВП

Доля в валовом внутреннем продукте



30% бюджета

Доля в доходах федерального бюджета



46% экспорта

Доля в общем объеме экспорта страны



**Системообразующая
отрасль**

Ключевой работодатель в ряде регионов



**2-е место в мире
по добыче золота**

Россия является одним из мировых лидеров в золотодобыче



**17 регионов -
основа добычи**

География отрасли охватывает значительную часть территории страны



**Лидер
по производству
металлов**

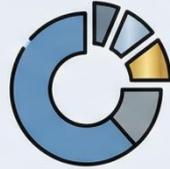
Ведущие позиции в мире по производству палладия, никеля и других металлов



МГТУ
МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА

Горнодобывающая отрасль в экономике России (только твердые полезные ископаемые)

3



3,3% ВВП

Вклад в валовой внутренний продукт



~24% экспорта
(104 млрд \$)

Доля в общем объеме экспорта



~2,5% бюджета

Вклад в доходную часть бюджета



~2% занятых

Доля в общей численности занятых



**2-е место в мире
по золоту
(330 т/год)**

Лидирующие позиции в глобальной добыче



**Металлы:
>109 млн т/год**

Общий объем производства металлов

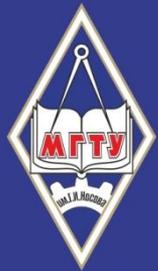


**Уголь:
196 млн т
на экспорт**

Значительный объем экспортных поставок

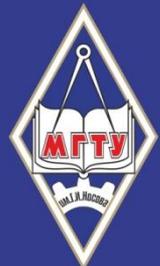
Без учёта нефти и газа

Динамика объемов добычи основных твердых полезных ископаемых в России (2020-2025)



МГТУ
МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА





МГТУ
МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА

Способы добычи твердых полезных ископаемых в России ⁵

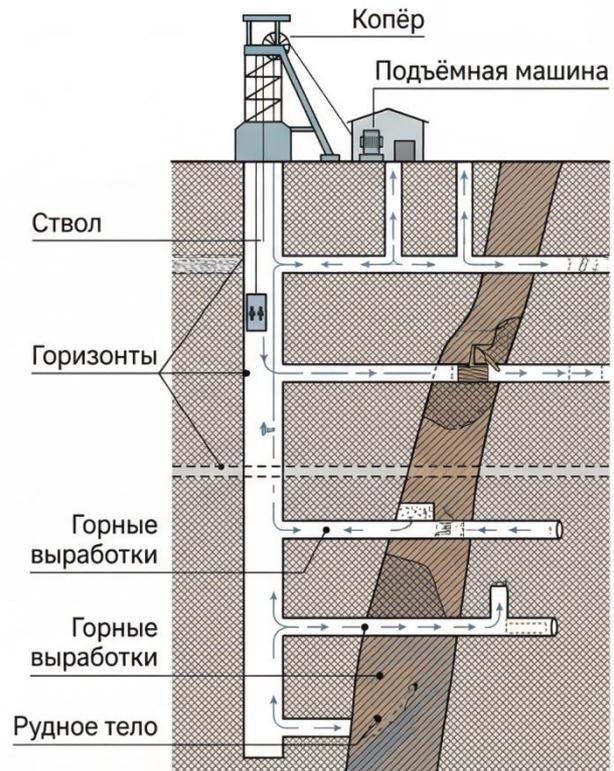
ОТКРЫТЫЙ СПОСОБ (карьерный)



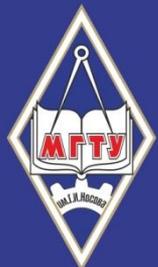
Статистика способов добычи

Вид ископаемого	Открытый	Подземный
Уголь	79%	21%
Железная руда	95%	5%
Золото	63%	37%
Строительные материалы	100%	—

ПОДЗЕМНЫЙ СПОСОБ (шахтный)



Коэффициент вскрыши и горнодобывающие предприятия России



МГТУ
 МАГНИТОГОРСКИЙ
 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
 ТЕХНИЧЕСКИЙ
 УНИВЕРСИТЕТ
 ИМ. Г. И. НОСОВА

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВСКРЫШИ



Схема коэффициента вскрыши



Примечание: Коэффициент вскрыши = объём вскрышных пород / объём полезного ископаемого (м³/т или м³/м³)

ГОРНОДОБЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

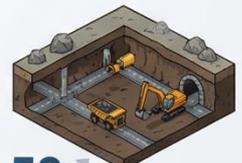


24 крупных ГОК



127 крупных разрезов

700+
предприятий
по добыче ТПИ

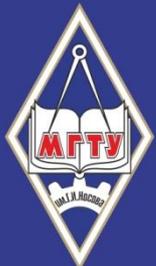


52 угольные шахты

500+
золотодобывающих
компаний



48 видов минерального сырья

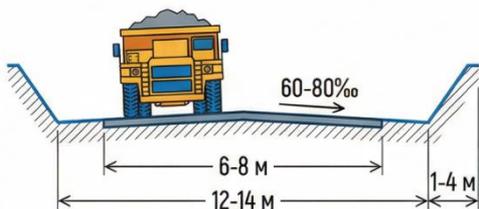


МГТУ

МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА

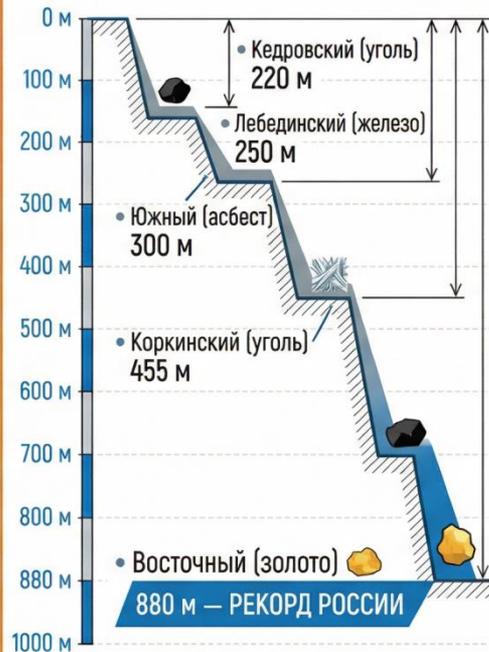
Параметры карьерной инфраструктуры в России

КАРЬЕРНЫЕ АВТОДОРОГИ

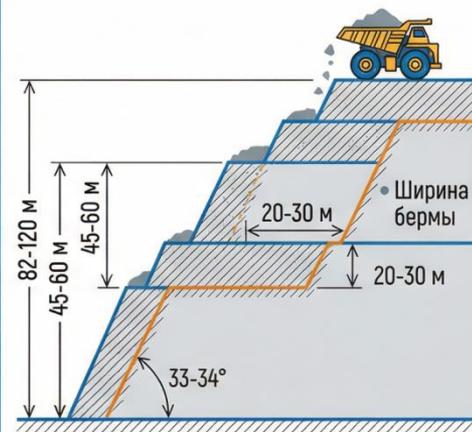


- Ширина: **6-8 м** (1 полоса) / **12-14 м** (2 полосы)
- Продольный уклон: **60-80‰** (макс. 100‰)
- Поперечный уклон: **20‰**
- Радиус поворота: **min 50-150 м**
- Обочина: **1-4 м**
- Площадки отдыха: через **600 м** на уклонах

ГЛУБИНА КАРЬЕРОВ

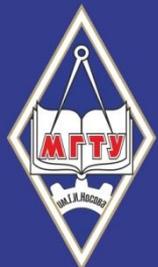


ВЫСОТА ОТВАЛОВ



- Одноярусный: **45-60 м**
- Многоярусный: **82-120 м**
- Угол откоса: **33-34°**
- Ширина бермы: **20-30 м**

Горно-транспортное оборудование: карьерные самосвалы и 8 подземные ПДМ



МГТУ
МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА

КАРЬЕРНЫЕ АВТОСАМОСВАЛЫ БелАЗ

БелАЗ-7545 (45 т)

Размеры: 8,6×4,8×4,5 м
Расход: ~70 л/ч



Размеры: 8,6×4,8×4,5 м
Расход: ~70 л/ч

БелАЗ-75131 (130 т)

Размеры: 11,5×7,0×5,9 м
Расход: ~130 л/ч



Размеры: 11,5×7,0×5,9 м
Расход: ~130 л/ч

БелАЗ-7530 (220 т)

Размеры: 13,5×7,9×6,5 м
Расход: ~175 л/ч



Размеры: 13,5×7,9×6,5 м
Расход: ~175 л/ч

РЕКОРД МИРА



БелАЗ-75710 (450 т)

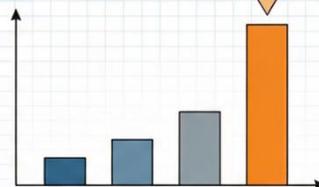
Размеры: 20,6×9,75×8,17 м
Расход: 300-600 л/ч
Бак: 5600 л

5600 л

ЗАТРАТЫ НА ТОПЛИВО



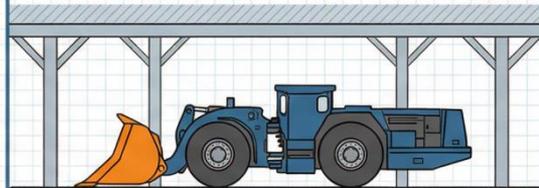
Удельный расход: 62-66 г/т·км



БелАЗ-75710: ~1300 л/100 км



ПДМ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКОВ



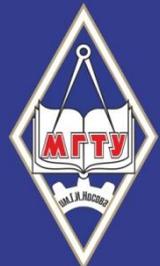
МоАЗ-4075	16 т	ковш 5,5-6,4 м ³
Sandvik LH514	14 т	ковш 6,5-8 м ³
Sandvik LH517	17 т	ковш 6,5-8,6 м ³
Sandvik LH625E	25 т	(электрическая) ⚡
CAT CL215	15 т	

Высота: 2,5-2,9 м Ширина: 2,5-3,0 м Длина: 10-3,0 м

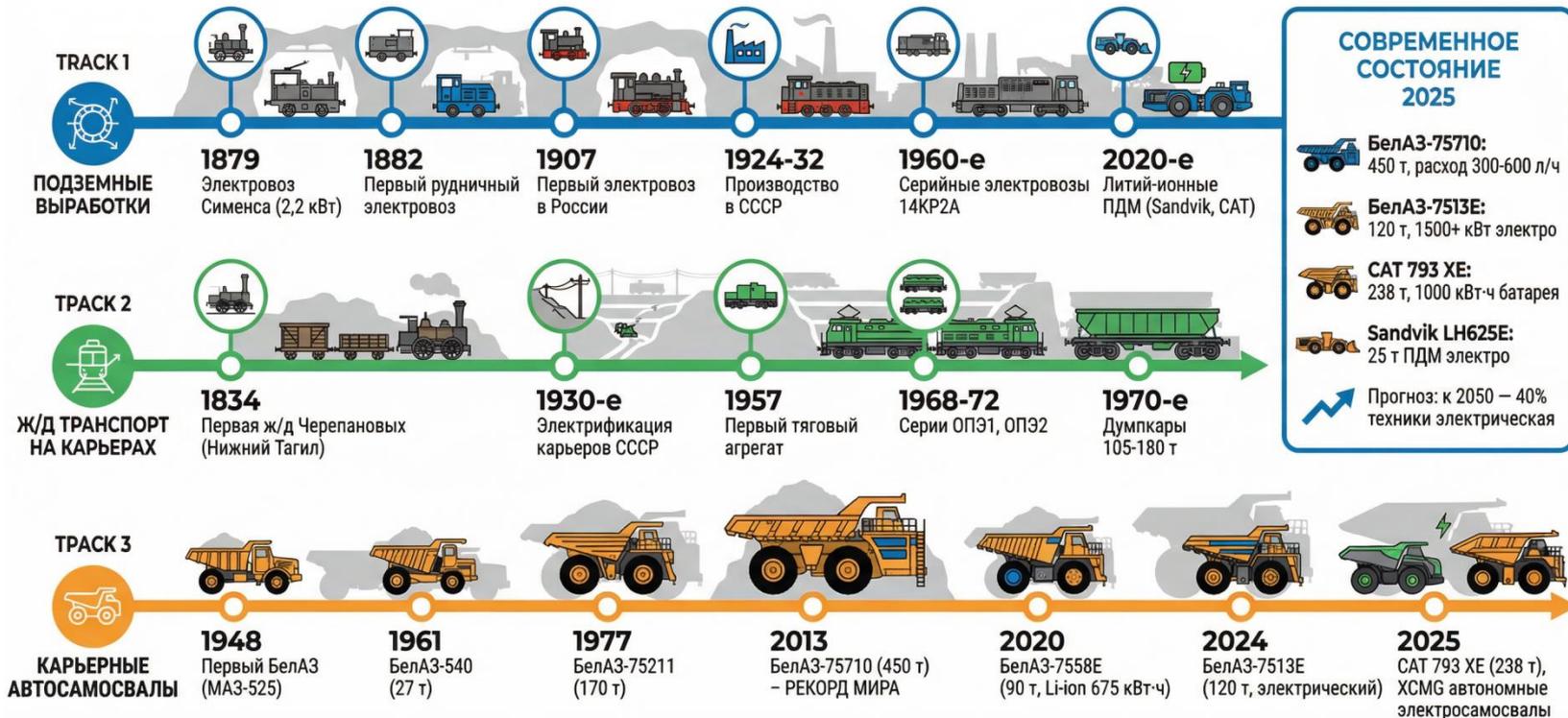


0 100 см

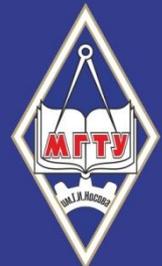
Развитие электротранспорта в горном деле (1834-2026)



МГТУ
МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА



Преимущества карьерных электросамосвалов



МГТУ

МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА



ЭКОНОМИЯ

- До **500 млн руб.** экономии за 10 лет
- До **285 млн руб.** на 1 самосвал
- Окупаемость: **менее 3 лет**
- Расход топлива: **минус 70-80%**
- Обслуживание: **минус 38%**



ТЕХНОЛОГИИ



- Рекуперация: **800 кВт·ч в день**
- КПД двигателя: **более 90%**
- Масса: **минус 10-15%**
- Скорость на подъеме: **в 2 раза выше**
- Срок службы: **увеличен**



ЭКОЛОГИЯ

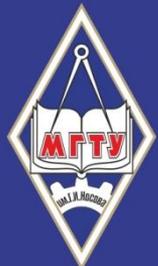
- Выбросы CO₂: **минус 80%**
- Нет загазованности
- Шум: **в 2-3 раза ниже**
- Чистый воздух в карьере
- Стандарты ESG

ПЕРСПЕКТИВЫ



- 2025: БелАЗ-7513Е (120 тонн)
- 2025: CAT 793 ХЕ (238 тонн)
- 2030: Массовое внедрение
- 2050: Полная электрификация

Преимущества электрических ПДМ в подземных условиях



МГТУ
МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА



1 ЭКОНОМИЯ

1

- Расходы на вентиляцию: **-40-50%**
- Затраты на обслуживание: **-25%**
- Экономия **\$90 000/год** на 1 ПДМ
- Топливо: **\$0.32/км vs \$0.85/км (-62%)**
- Энергопотребление: **-50-80%**



3 БЕЗОПАСНОСТЬ

3

- Шум: значительно ниже
- Тепловыделение: **-75%**
- Нулевая загазованность
- Меньше вибрации
- Комфортная температура
- Снижение риска возгорания



2

2 ЭКОЛОГИЯ



- **Нулевые** выбросы CO₂
- **40-50%** выбросов отрасли – от дизеля
- **-100 т CO₂/год** на 1 машину
- Чистый воздух в шахтах
- Соответствие целям ESG



4 ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

4

- Эффективность: **+27%**
- Uptime: **+200 ч/год**
- КПД: **>90%** (vs 30-40% ДВС)
- Мгновенный крутящий момент
- Меньше простоев на ремонт



ПЕРСПЕКТИВЫ



2025:
Россия – 2-е место
в мире по BEV



2030–2040:
Рынок батарей
350 МВт·ч

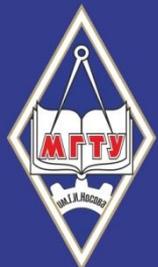


2045–2050:
Рынок
600 МВт·ч



2050:
40% техники –
электрическая

Факторы, ограничивающие применение карьерных автосамосвалов



МГТУ
МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА



ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

- Оптимальная работа АКБ: +10 до +40°C
- При -20°C потеря до 50-60% ёмкости
- При -6°C запас хода минус 41%
- Зарядка только при плюсовой температуре
- LiFePO4: не ниже минус 30°C
- Необходим подогрев батарей



ПРОБЛЕМЫ С БАТАРЕЕЙ

- Замедление химических реакций
- Рост внутреннего сопротивления
- Рекуперация: минус 50% на холоде
 - Риск повреждения при зарядке на морозе
- Ускоренный саморазряд
- Высокая стоимость замены



ЭНЕРГОЗАТРАТЫ НА ХОЛОДЕ

- Обогрев кабины: 3-5 кВт в час
- Подогрев батареи: 2-4 кВт постоянно
- Потеря 20-30% заряда на отопление
- Снижение эффективности рекуперации
- Общая потеря хода: до 40%



ИНФРАСТРУКТУРА И ЗАТРАТЫ

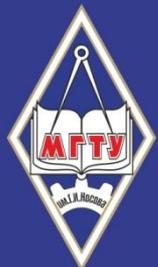
- Высокая стоимость АКБ
- Зарядная инфраструктура в карьере
 - Время зарядки дольше заправки
- Ограниченный срок службы батарей
 - Утилизация батарей
- Специальное обслуживание



УСЛОВИЯ В КАРЬЕРАХ РОССИИ

Температурный диапазон: от минус 50°C (Якутия) до +40°C (Южный Урал)
Снег, лёд, пыль, влажность — дополнительные факторы

Современный электротранспорт карьеров и подземных рудников 13



МГТУ

МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА

 Zero Emission

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАРЬЕРНЫЕ САМОСВАЛЫ

 Нулевые выбросы



BelAZ 7558 E
Payload: 90 т
Battery: 675 кВт·ч

ЭЛЕКТРО



Caterpillar 793 XE
Payload: 220 т
Battery: 1500 кВт·ч

ЭЛЕКТРО



XCMG XDR 100E
Payload: 100 т
Battery: 750 кВт·ч

ЭЛЕКТРО



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОДЗЕМНЫЕ ПДМ



Sandvik LH625E
Payload: 25 т
Battery: 400 кВт·ч

ЭЛЕКТРО



Epiroc MT42 Battery
Payload: 42 т
Battery: 600 кВт·ч

ЭЛЕКТРО



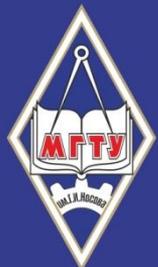
Caterpillar R1700 XE
Payload: 15 т
Battery: 200 кВт·ч

ЭЛЕКТРО

ЭЛЕКТРОСАМОСВАЛЫ: 90-238 т, батарея 675-1500 кВт·ч
ЭЛЕКТРО-ПДМ: 15-25 т, батарея 200-600 кВт·ч

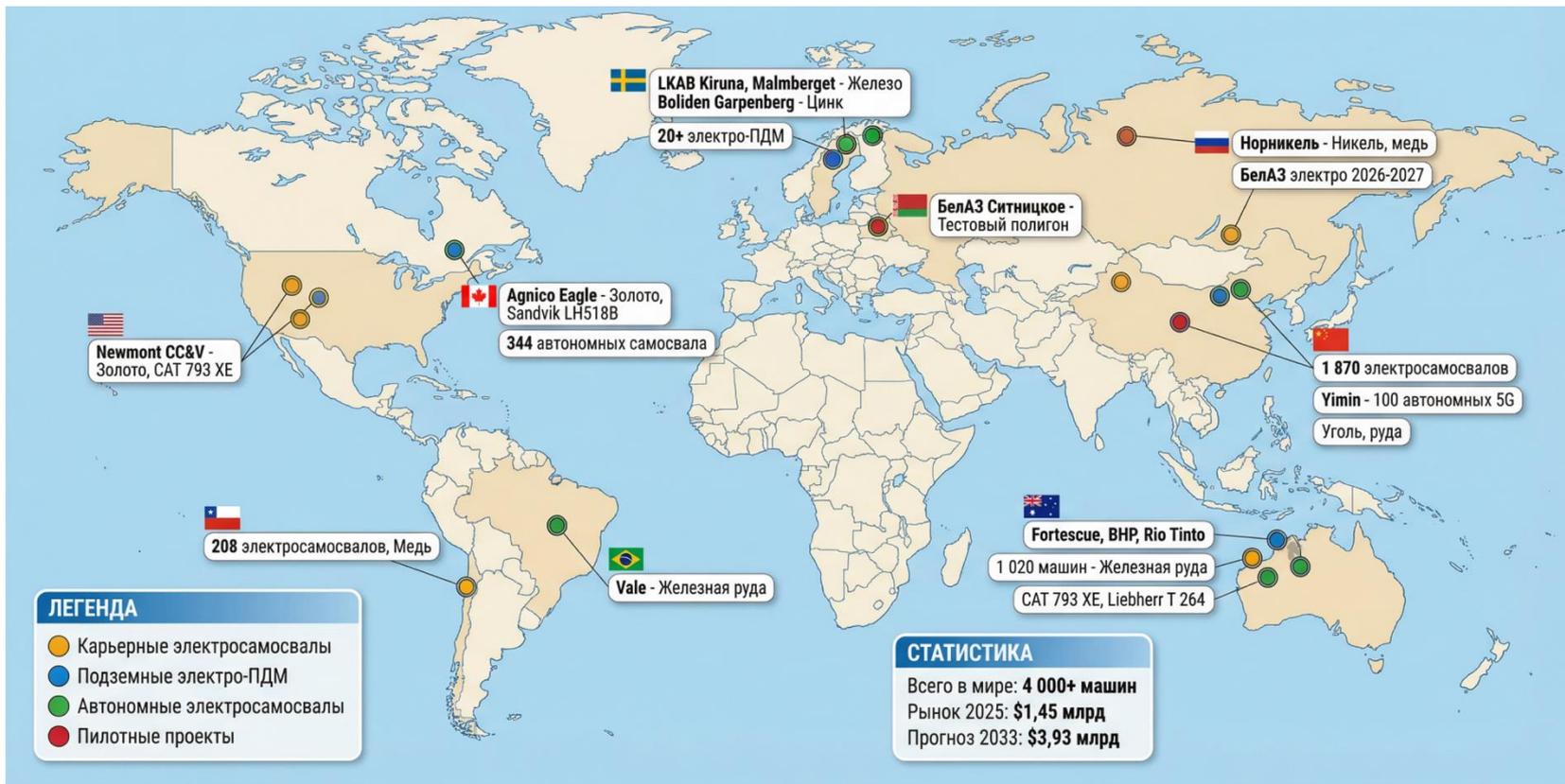
География месторождений с электрическим горным транспортом

14

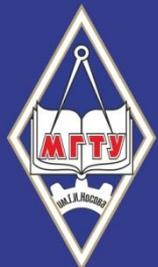


МГТУ

МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА



Мировой парк электрического горного транспорта (2025) 15



МГТУ

МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА



КАРЬЕРНЫЕ ЭЛЕКТРОСАМОСВАЛЫ

4 000+

автономных и электрических самосвалов в мире



Рынок 2025:
\$1,45 млрд

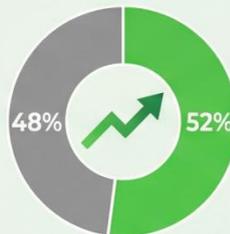
Прогноз 2033:
↑ \$3,93 млрд

Рост: **+170%**



ПОДЗЕМНЫЕ ЭЛЕКТРО-ПДМ

Дизельные 48%



Электрические
(растущий сегмент)

Рынок 2024:
\$1,32 млрд

Прогноз 2033:
\$2,15 млрд

CAGR
+5,7%

Battery-electric segment

Рынок батарейных ПДМ: **\$1,04 млрд**

Рост сегмента: **+9% в год**

КРУПНЕЙШИЕ ПОСТАВКИ 2024-2025



• XCMG → Fortescue: **200+** электросамосвалов (240 т)



• China Huaneng: **100** автономных 5G самосвалов



• БелАЗ + Норникель: **первый электросамосвал в 2026**



К 2033 году рынок электрического горнотранспорта вырастет в 3 раза

Россия: текущее состояние

Показатель

Значение

Всего тяжёлых самосвалов

~380 800 ед.

Электрических карьерных

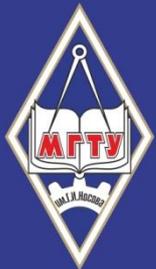
Пилотные проекты

Инвестиции Норникеля (2024)

>50 млрд руб.

Первый электро-БелАЗ

2025–2026 (образец)



МГТУ

МАГНИТОГОРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Г. И. НОСОВА

Спасибо за внимание