



Моделирование товарных рынков для построения долгосрочных прогнозов грузовых железнодорожных перевозок (на примере рынка угля)



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА»

С.П. Кудияров





Построение модели производственного баланса учитывающей перерабатывающие мощности портов, объемы производства угольной продукции, направления перевозок угля



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА»



Москва, 2018 год

Цели прогнозирования



Вывоз груза требует наличия пропускных и провозных способностей инфраструктуры



Дефицит мощностей инфраструктуры означает невывоз груза, ограничение экономического развития

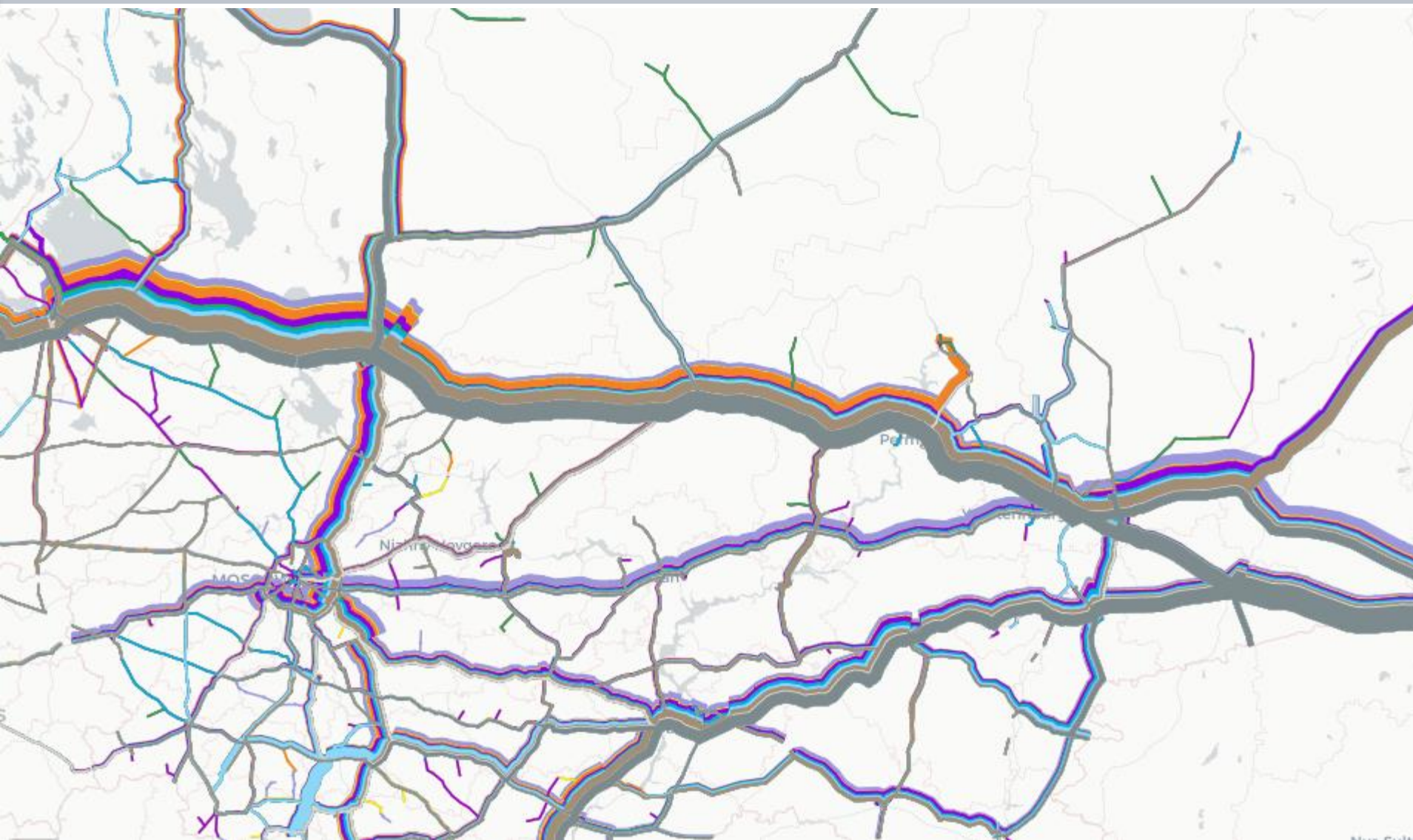


Дефицит снимается расширением мощностей, инвестициями в инфраструктуру



Инвестиционная политика нуждается в прогнозе локализации и объема потребности в инфраструктуре

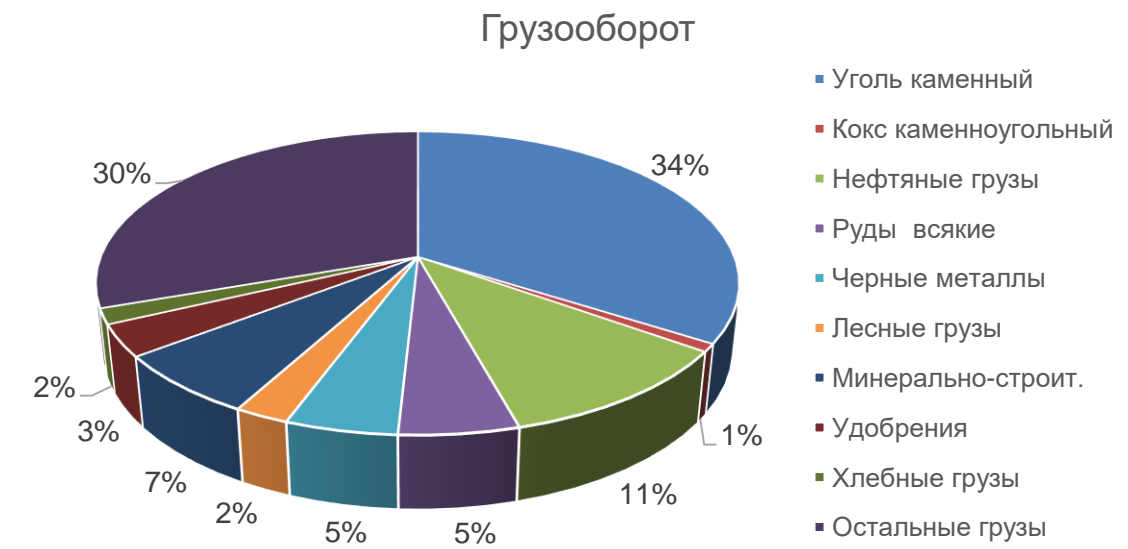
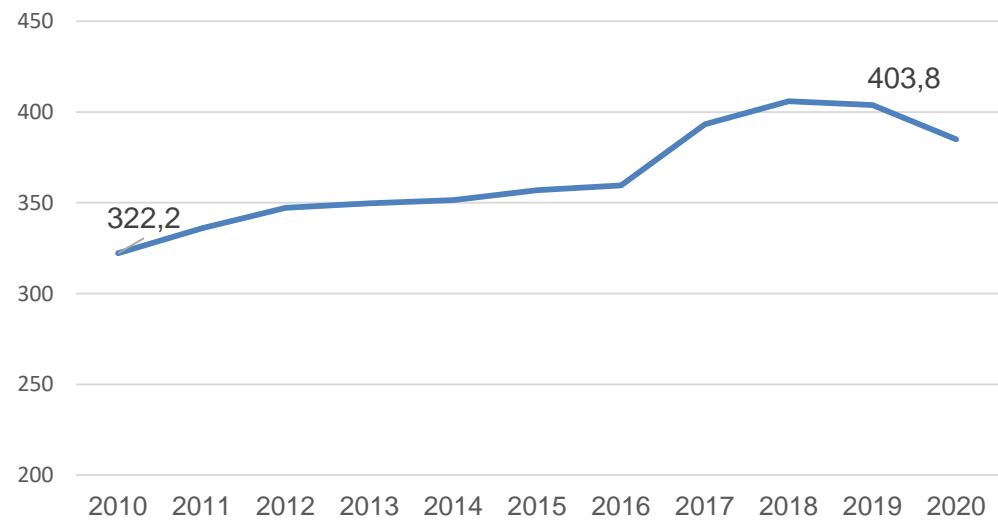
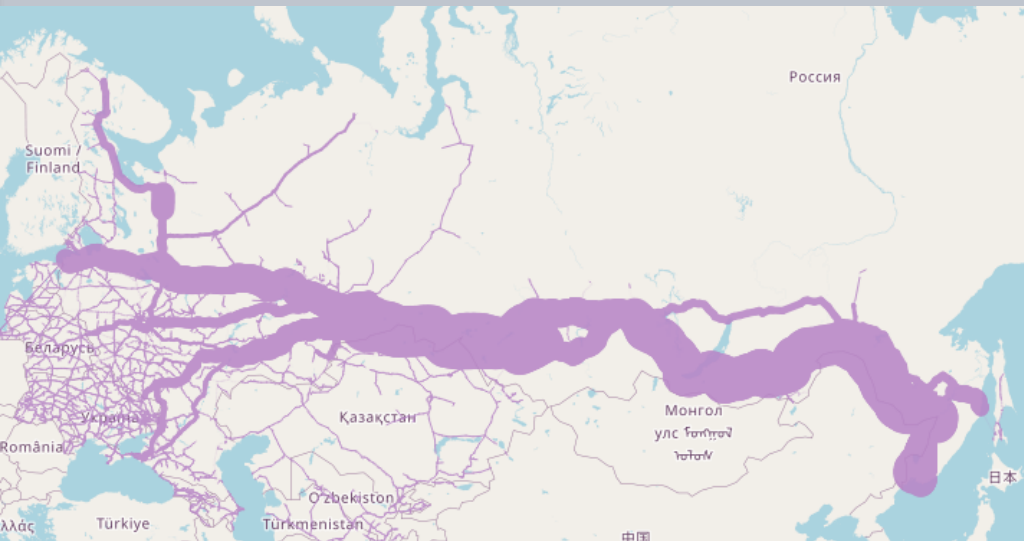
Грузопотоки на сети железных дорог



- По родам грузов
- ❖ Уголь каменный
 - ❖ Нефтяные грузы
 - ❖ Руды всякие
 - ❖ Черные металлы
 - ❖ Лесные грузы
 - ❖ Минерально-строительные материалы
 - ❖ Удобрения
 - ❖ Хлебные грузы
 - ❖ Остальные грузы

- По видам перевозки
- ❖ Внутренние
 - ❖ Экспорт
 - ❖ Импорт
 - ❖ Транзит

Почему уголь



Математическое моделирование

ElasticNet – построение модели регрессии с использованием метода наименьших квадратов (МНК) со штрафом в виде суммы квадратов коэффициентов модели и суммы модулей коэффициентов модели; оно обобщает в себе подходы построения *Ridge*- и *Lasso*-регрессии, и, осуществляя регуляризацию параметров, позволяет преодолеть недостатки МНК, состоящие в том, что если объем факторов не сильно меньше размера выборки, то наблюдается падение точности прогнозов из-за возрастающей дисперсии, а в случае превышения числа задействованных регрессоров над числом наблюдений в выборке МНК становится не состоятельным, так как дисперсия прогноза стремится к бесконечности.

LightGBM – построение усиленных регрессионных деревьев, основанное на делении исходного набора данных на более гомогенные подгруппы, в результате чего формируется древовидная иерархическая структура; имеет ряд преимуществ по сравнению с другими инструментами для построения деревьев, например, он работает с категориальными переменными и с пропущенными значениями, а также демонстрирует ускорение времени обучения в несколько раз по сравнению с аналогичными усиленными регрессионными деревьями.

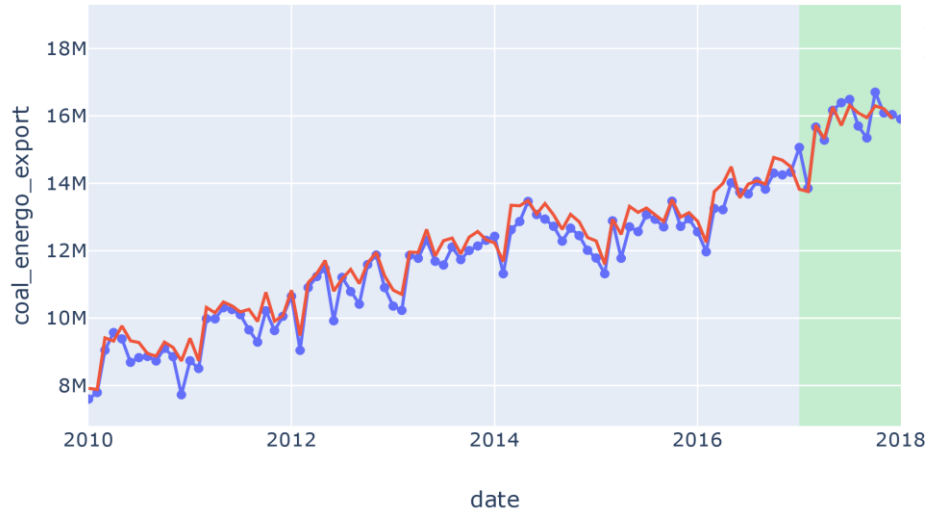
Facebook Prophet – специализированная модель, предложенная специалистами компании *Facebook* для предсказания временных рядов. В отличие от *ARIMA*, *ARCH* и других специализированных инструментов, *Facebook Prophet* не требует глубоких знаний и большого опыта работы с временными рядами, а также не требует долгой подготовки исходных данных. *Prophet* представляет собой аддитивную регрессионную модель, которая умеет выделять годовую сезонность с помощью рядов Фурье, недельную и дневную сезонность с помощью фиктивных переменных, а также учитывать редкие события (например, праздники).

Математическое моделирование: экспорт энергетического угля

ElasticNet



Facebook Prophet

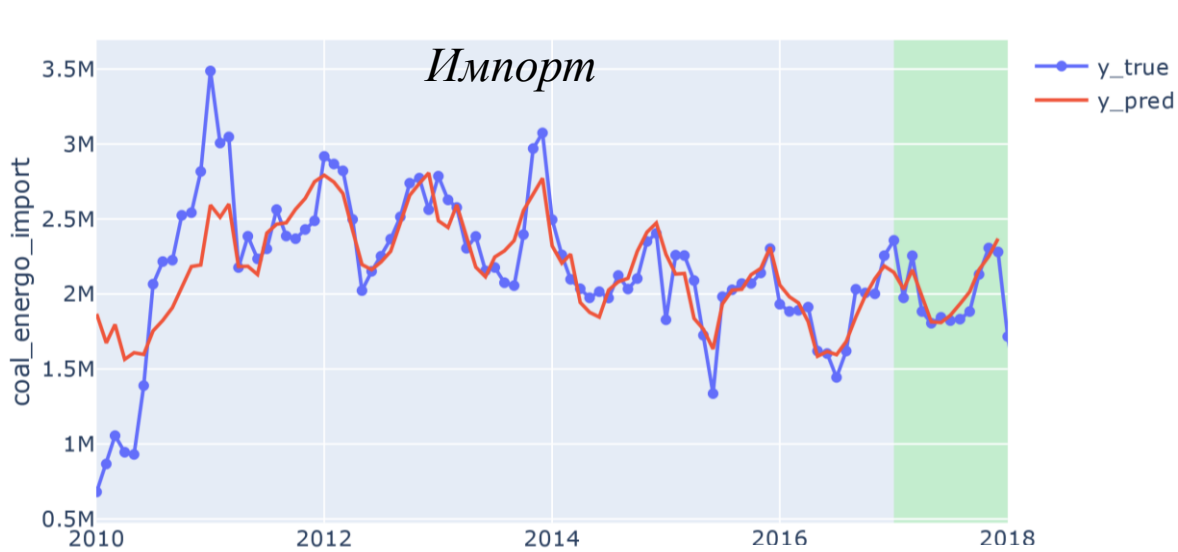


Результующая модель



$R^2 = 0,64688$

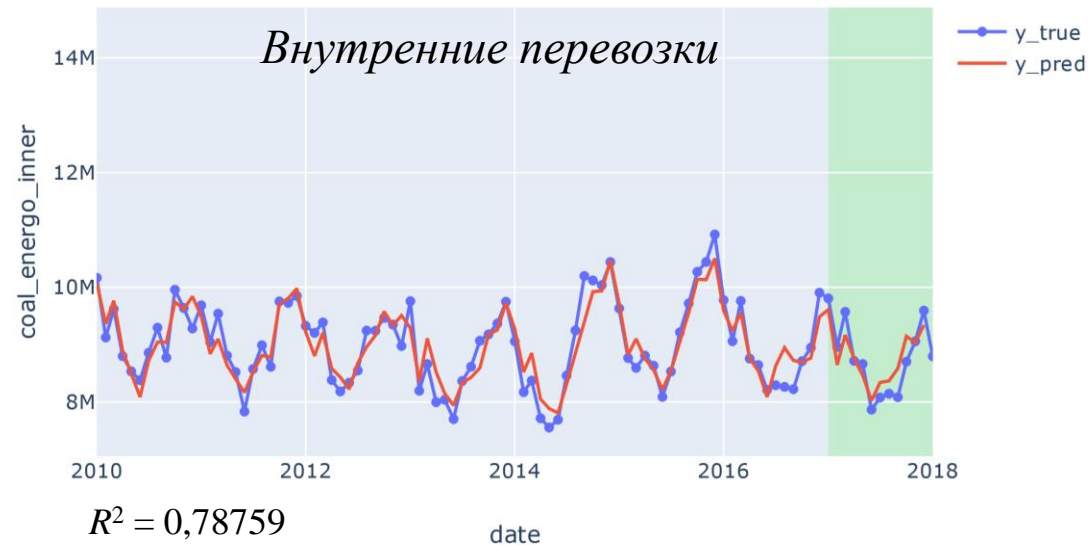
Математическое моделирование: перевозки энергетического угля



$R^2 = 0,79108$



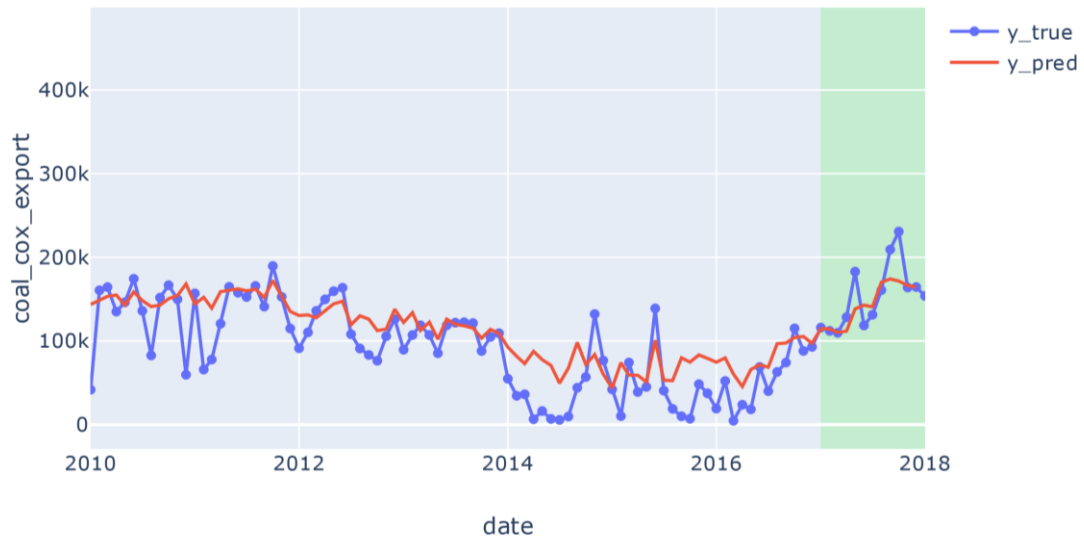
$R^2 = 0,56579$



$R^2 = 0,78759$

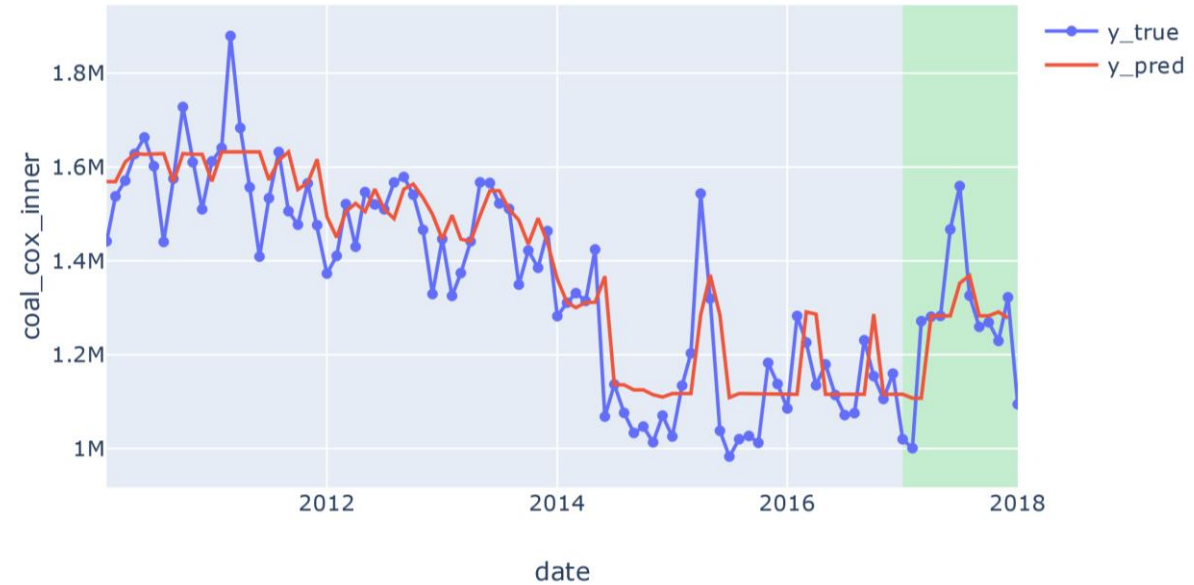
Коксующийся уголь

Экспорт



$$R^2 = 0,55750$$

Внутренние перевозки

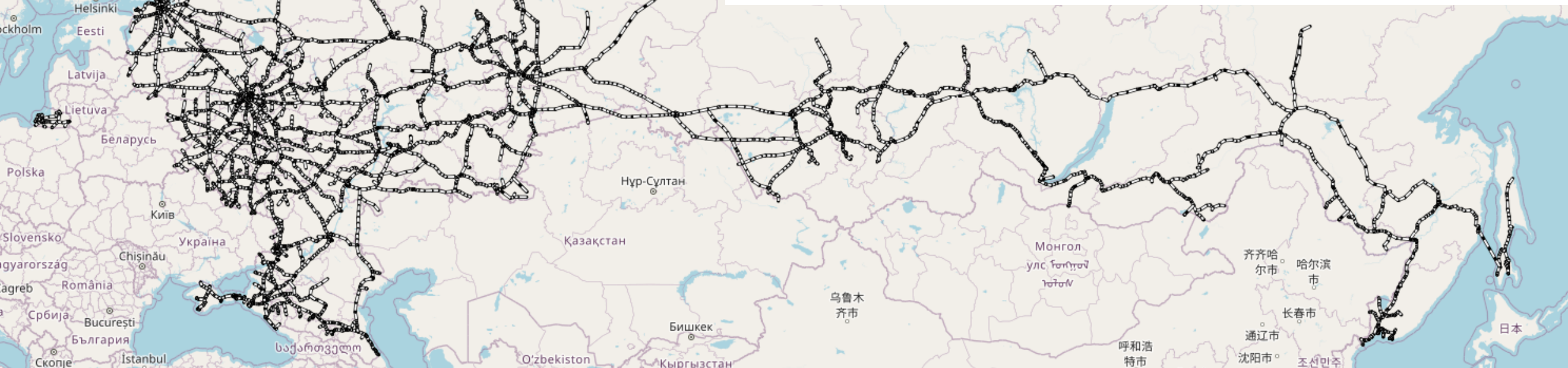


$$R^2 = 0.50022$$

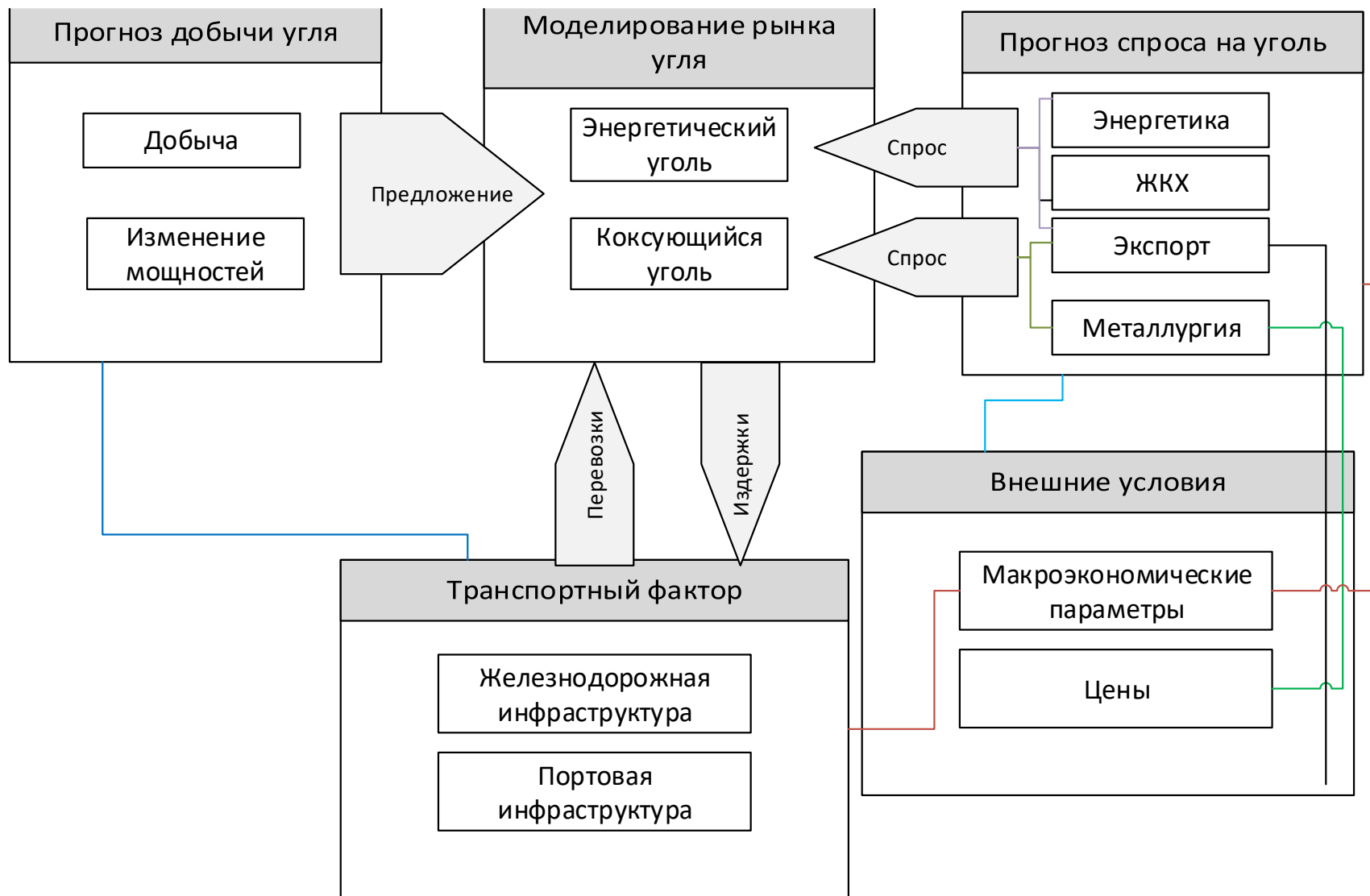
Развертывание на пространстве



- ❖ Для целей инвестиционной политики мало понимания общих уровней объемов погрузки и перевозки, требуется знание где конкретно и в каком объеме пройдут грузопотоки, где возникнет спрос на пропускные и провозные способности инфраструктуры
- ❖ Прогноз может «разворачиваться» как на фактически имеющуюся сеть для понимания ее «узких мест», так и развертываться на гипотетически возможную перспективную топологию сети



Модель рынка угля

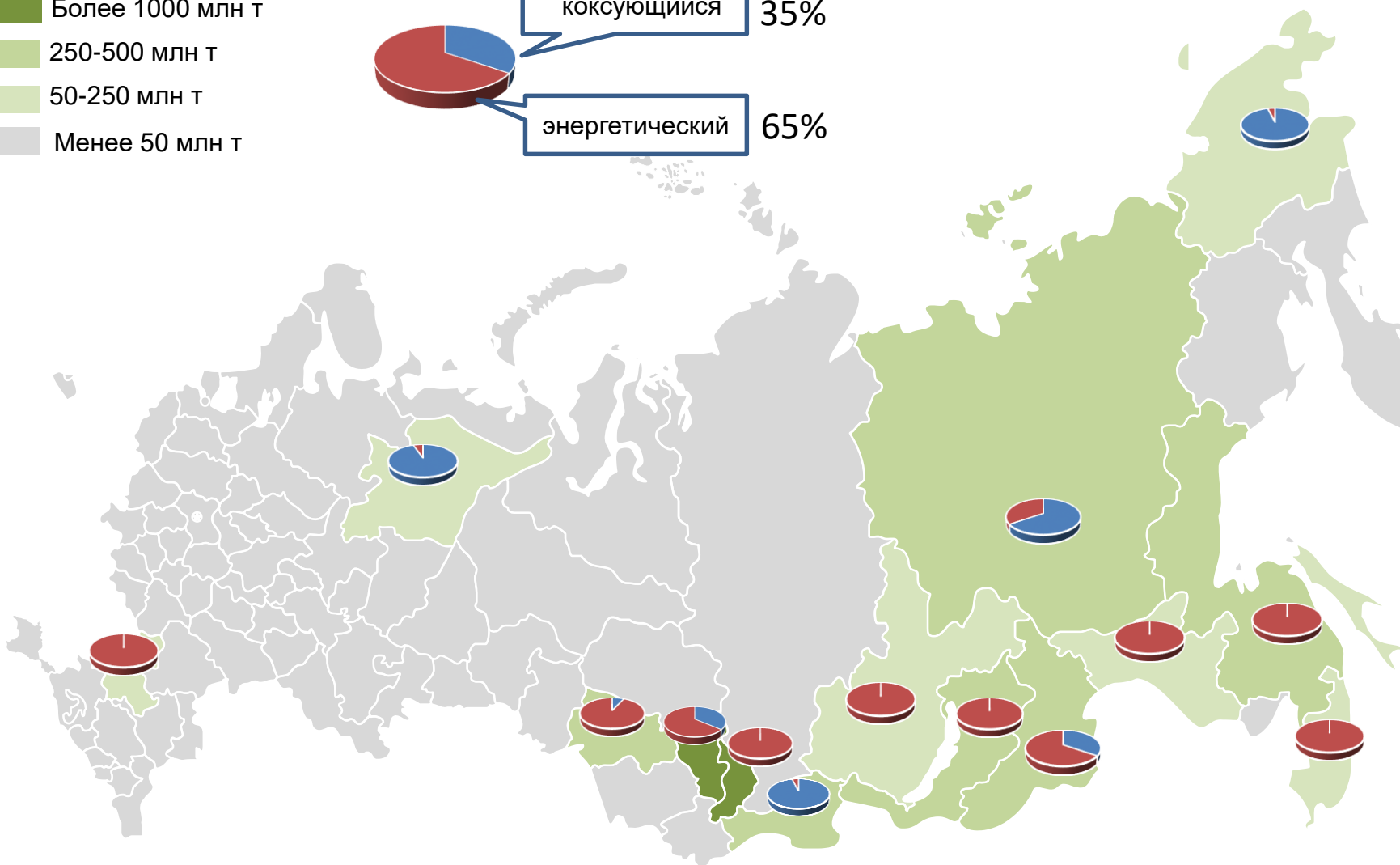
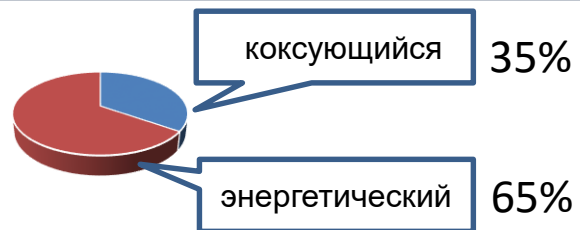


Исходные:

- ✓ Объемы производства
- ✓ Объемы потребления
- ✓ Точки производства
- ✓ Точки потребления
- ✓ Стоимостные параметры
- ✓ Граф сети

Коммерчески рентабельные для извлечения запасы каменного угля

- Более 1000 млн т
- 250-500 млн т
- 50-250 млн т
- Менее 50 млн т



В структуре российской сырьевой базы угля более половины запасов приходится на бурые угли (53%), на долю каменных углей и антрацита — 47%.

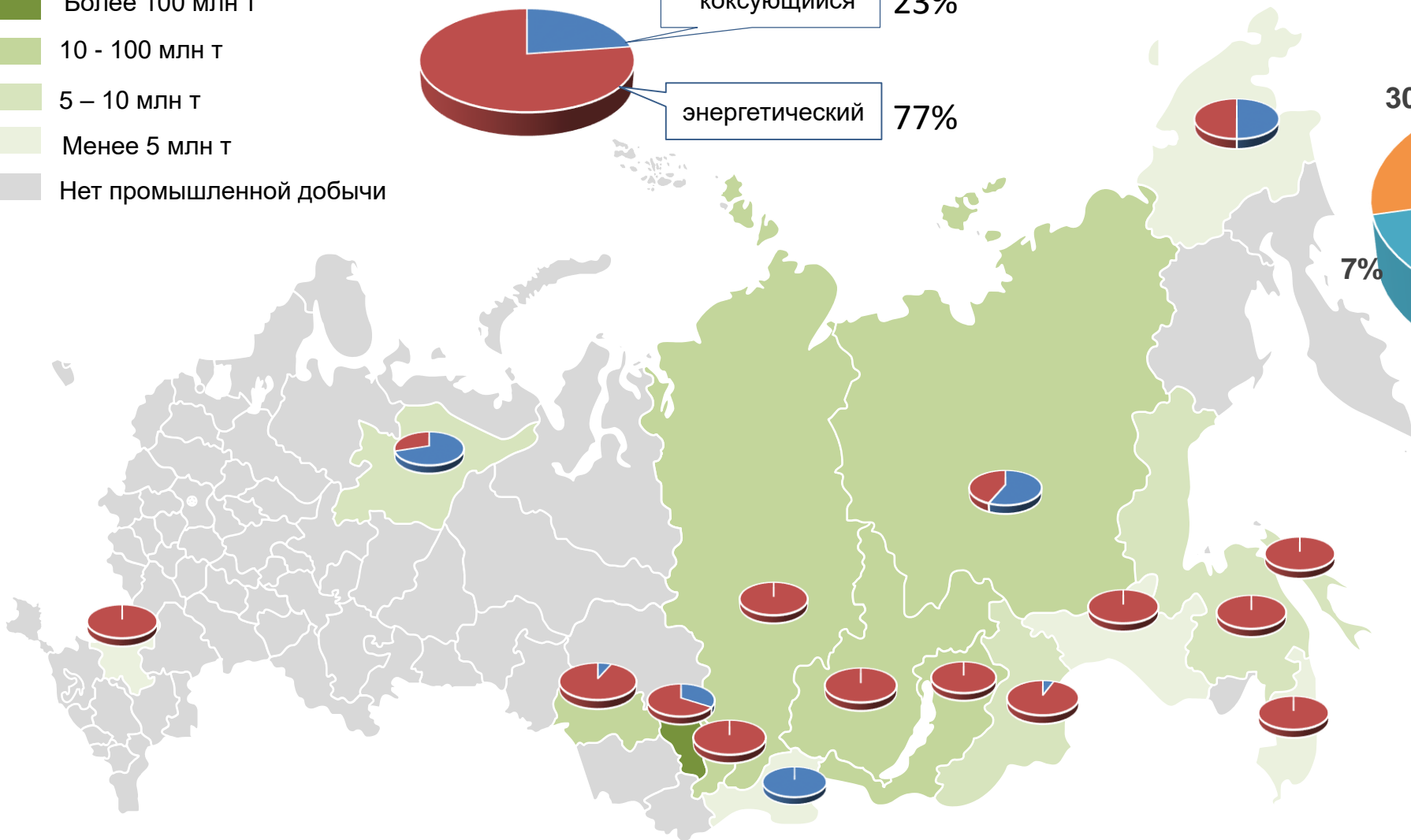
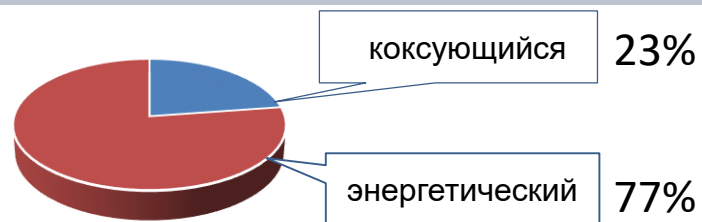
По оценке консалтинговой компании Wood Mackenzie по состоянию на 2020 год в структуре извлекаемых (при существующих параметрах себестоимости добычи и цен на уголь) запасов каменного угля 65% приходится на энергетические угли, 35% пригодно для коксования.

Основные извлекаемые запасы каменного угля сосредоточены в Кемеровской области (5,8 млрд т), Хакасии (свыше 1 млрд т), Туве (свыше 580 млн т) и Якутии (свыше 450 млн т).

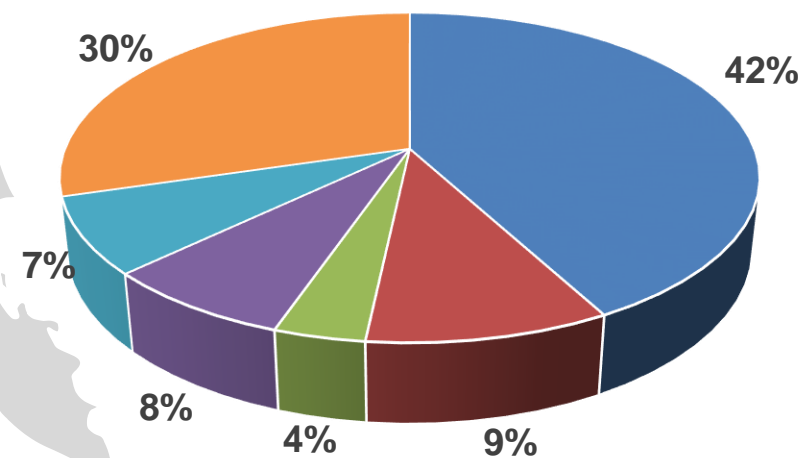
Основные запасы коксующегося угля сосредоточены в Кемеровской области (2,5 млрд т), Туве (560 млн т), Якутии (295 млн т), республике Коми (160 млн т) и в Забайкалье (свыше 100 млн т).

Поставки угольной товарной продукции

- Более 100 млн т
- 10 - 100 млн т
- 5 – 10 млн т
- Менее 5 млн т
- Нет промышленной добычи



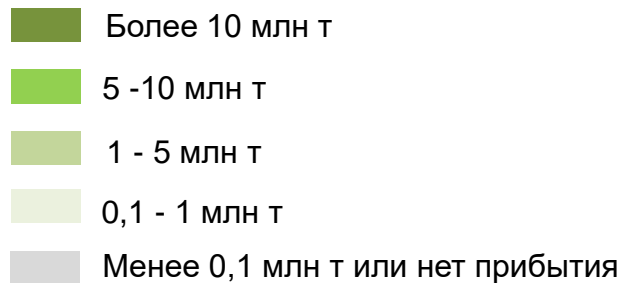
Структура себестоимости



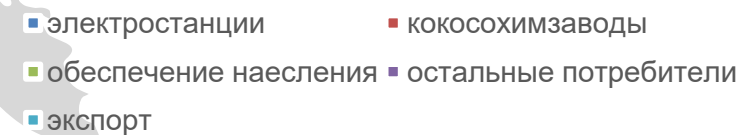
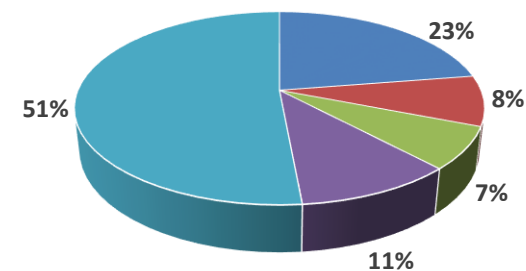
- материальные затраты
- оплата труда
- отчисления на социальные нужды
- амортизация основных фондов
- прочие расходы
- внепроизводственные расходы

Потребление угля

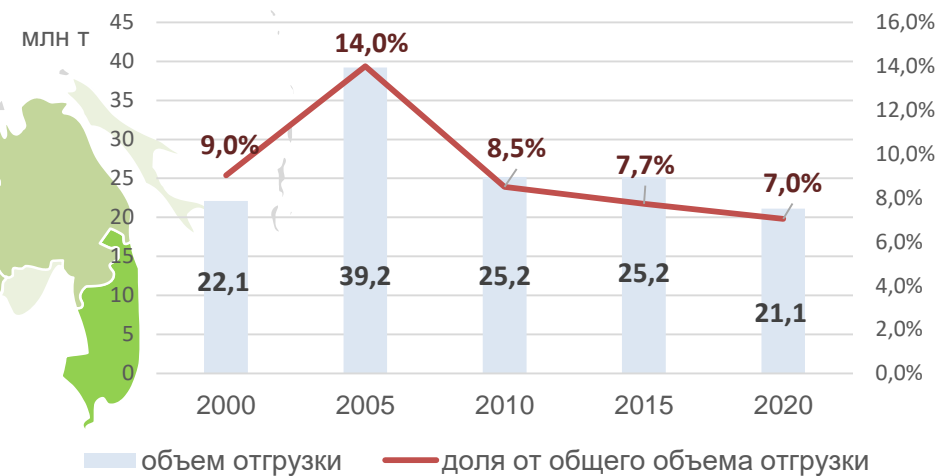
Прибытие угля железнодорожным транспортом



Отгрузки угля по назначению



Поставки угля населению России



Итерационная модель

Факторы отбора вариантов:

- Объем предложения предприятия
- Цена предложения предприятия (цена производителя)
- Средняя цена спроса (на рынке)
- Объем спроса на рынке
- Транспортные издержки при доставке



Условия отбора вариантов:

- Перспективные мощности производителей задаются заранее
- Верхний порог потенциального спроса задается заранее
- Рынок предпочтет поставку от производителя с меньшими ценами и транспортными издержками
- Предприятие предпочтет поставку на рынок с наибольшей премией
- Шаг отбора (по объему, цене) задается заранее
- Ограничение на объемы пропуска по ребрам графа сети задается заранее

В результате многократного итерационного процесса будут предложены планы перевозок, в которых будут указаны маршруты перевозок, загруженность транспортной сети, издержки перевозчика и параметры ожидаемых сделок



Консервативный вариант развития угледобычи

Фактический объем добычи

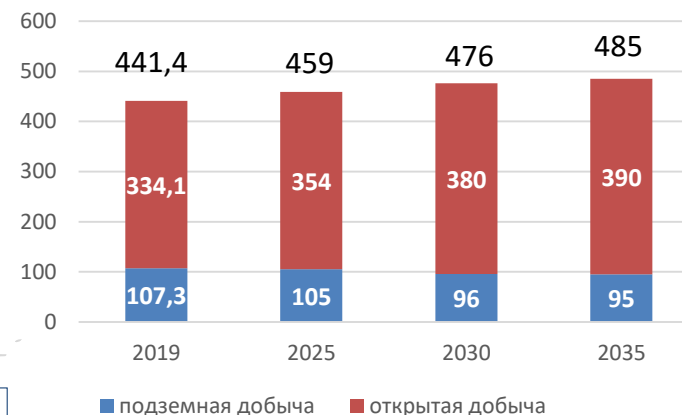
- Более 100 млн т
- 20 - 100 млн т
- 10 - 20 млн т
- 5 - 10 млн т
- Менее 5 млн т
- Нет добычи

+6,1 Прогноз прироста добычи до 2025 года, млн т

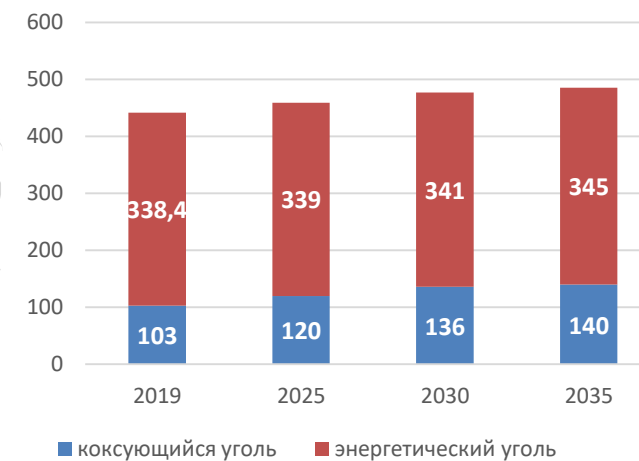
-6 Прогноз снижения добычи до 2025 года, млн т



Прогноз добычи по способам



Прогноз добычи угля по типам



Оптимистический вариант развития угледобычи

Фактический объем добычи

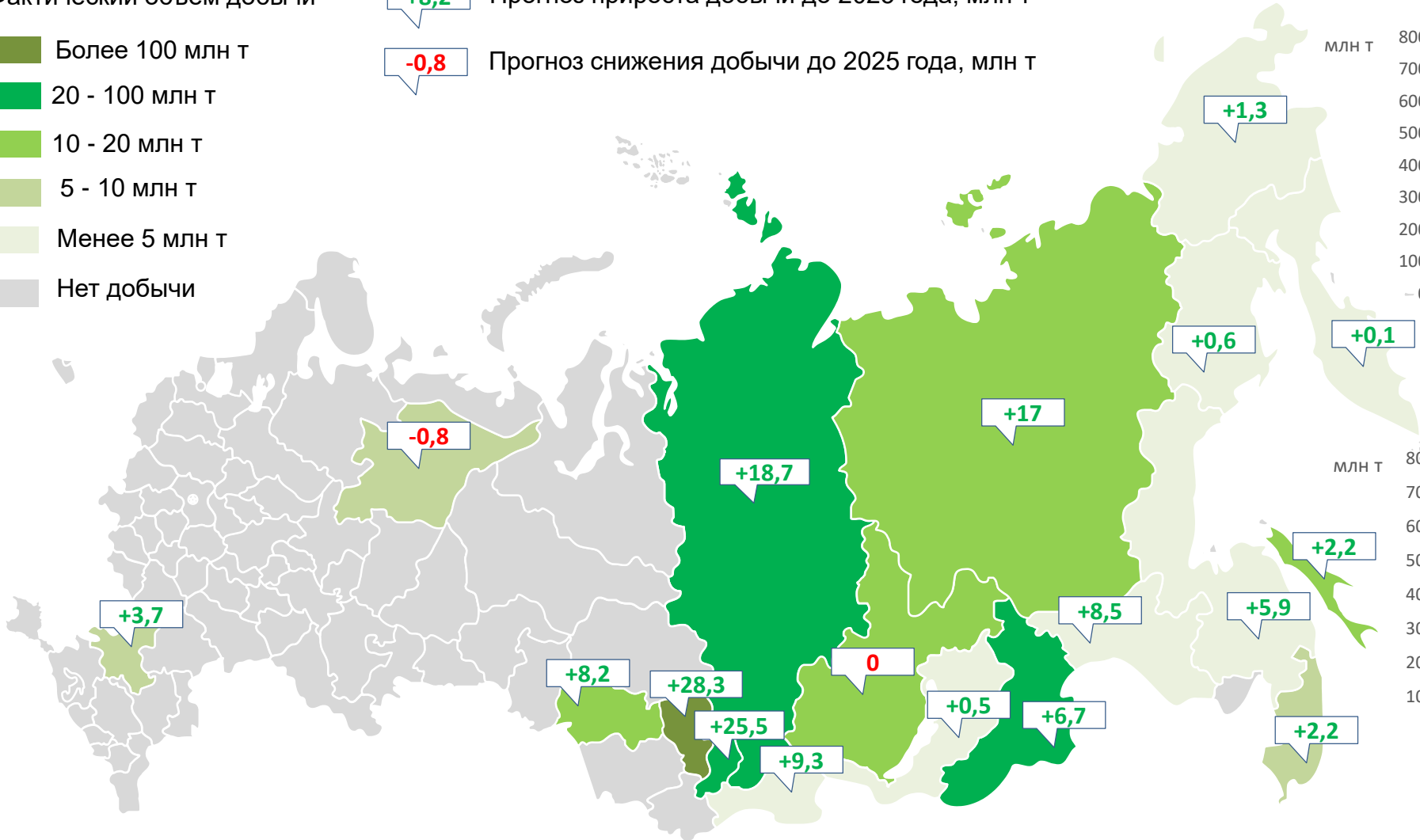
- Более 100 млн т
- 20 - 100 млн т
- 10 - 20 млн т
- 5 - 10 млн т
- Менее 5 млн т
- Нет добычи

+8,2

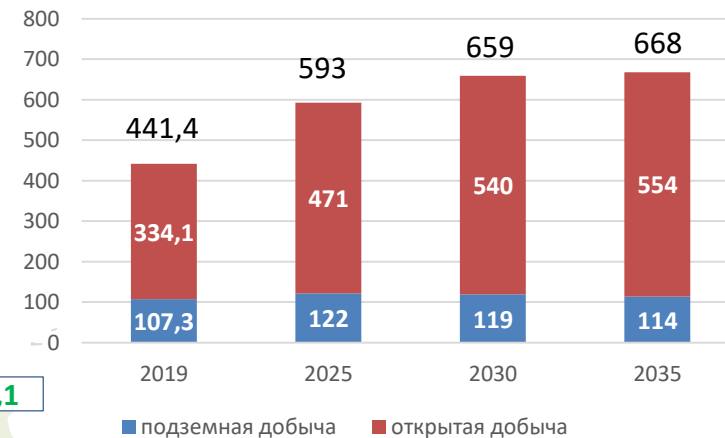
Прогноз прироста добычи до 2025 года, млн т

-0,8

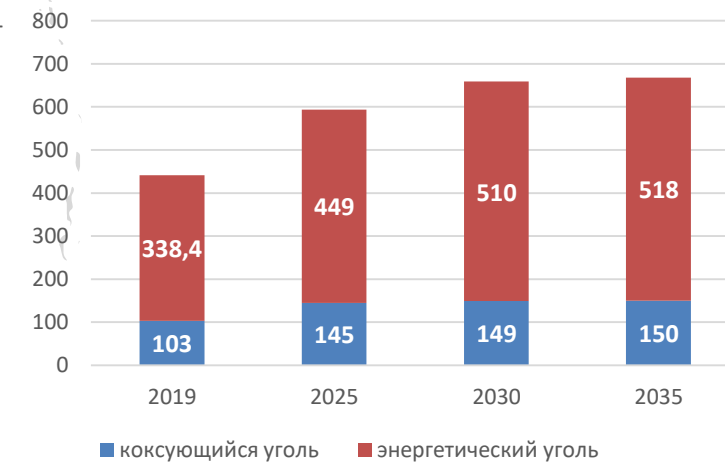
Прогноз снижения добычи до 2025 года, млн т



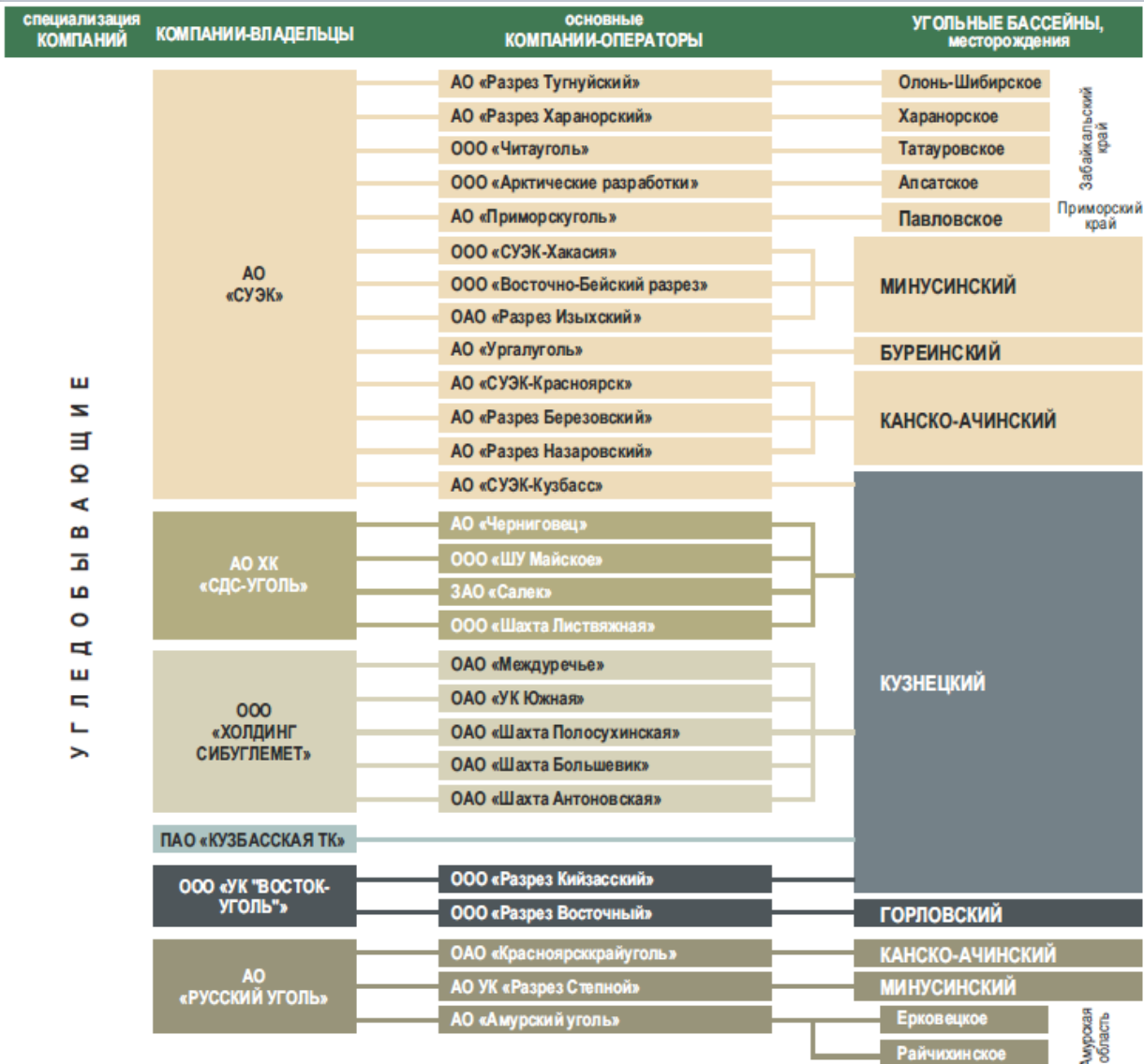
Прогноз добычи по способам



Прогноз добычи угля по типам



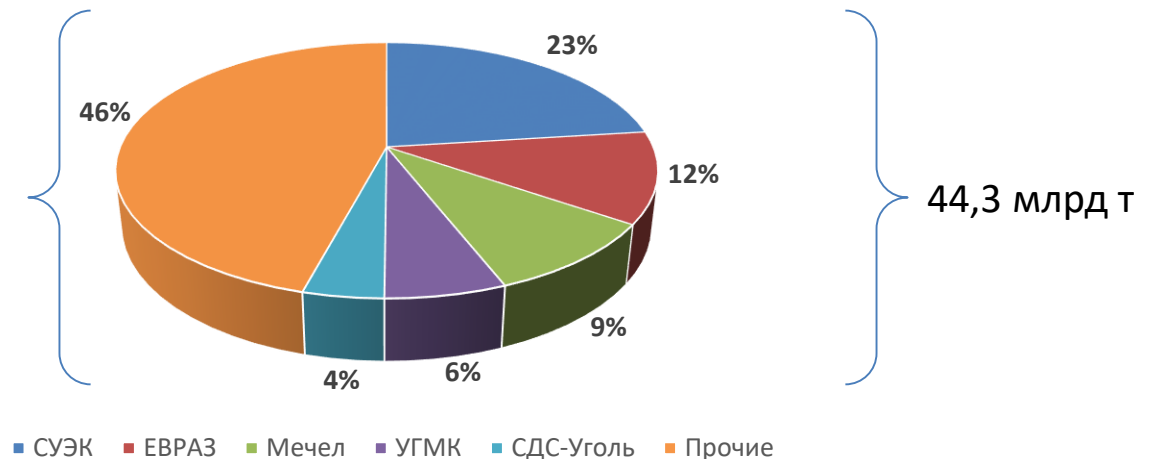
Корпоративная структура угольной промышленности России



ЭНЕРГО-УГОЛЬНЫЕ

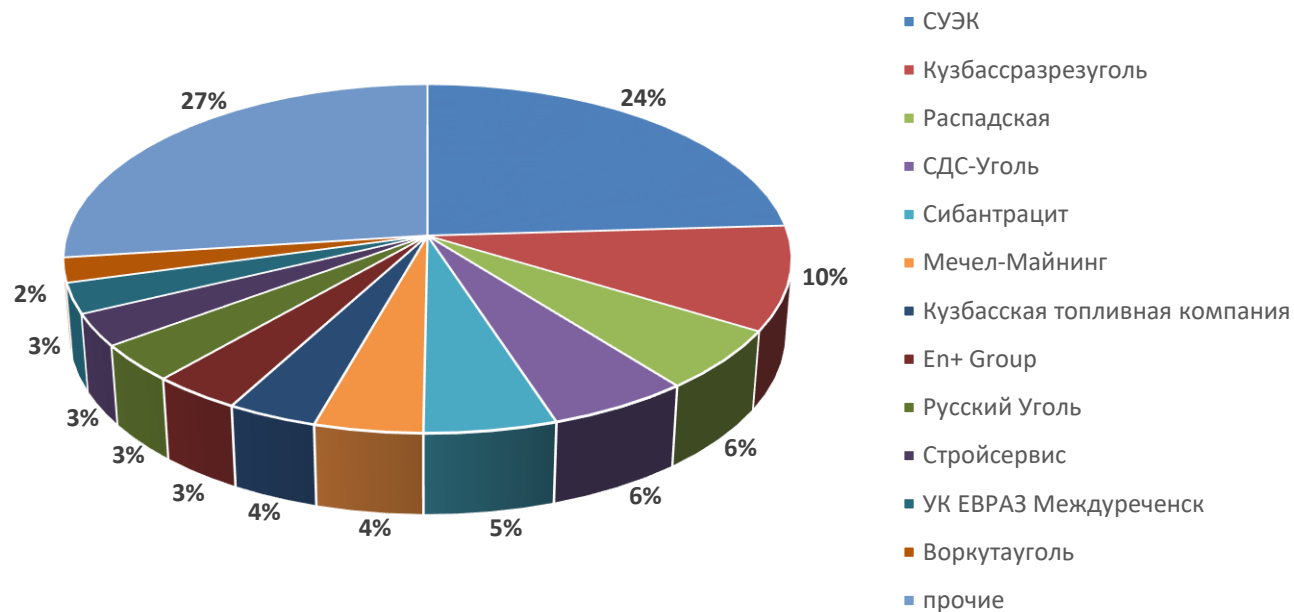


Запасы распределенного фонда по компаниям

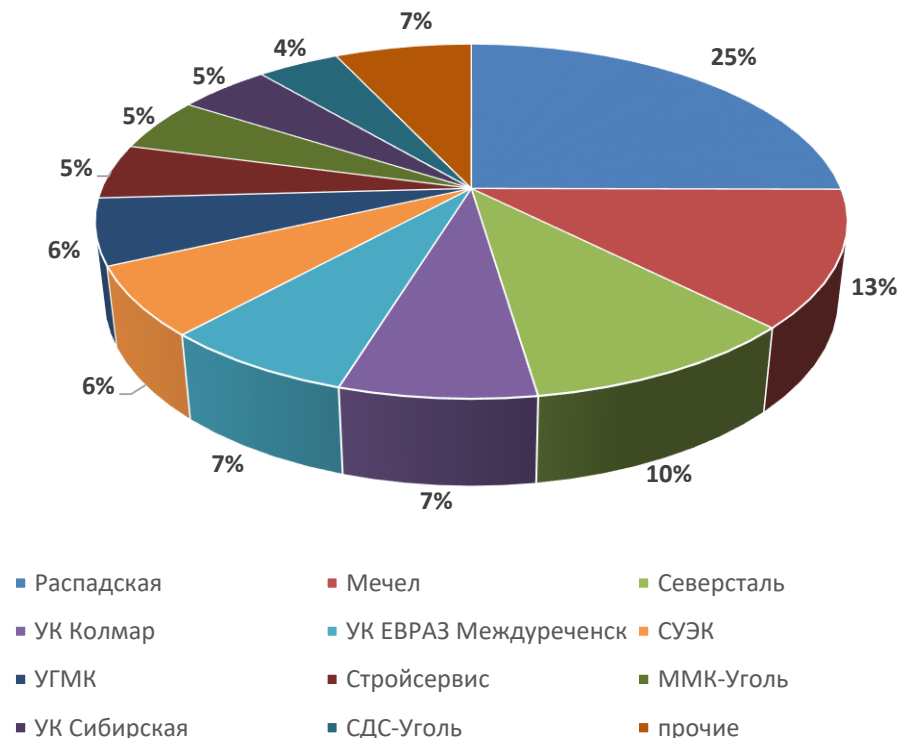


Добыча угля в России в корпоративном разрезе

Крупнейшие производители угля в России



Крупнейшие производители коксующегося угля



Угольная отрасль сосредоточена в руках крупных корпораций, поэтому метод итерационного моделирования «идеального» рынка не дает корректного результата

Угольная электрогенерация в России

Существующие установленные мощности

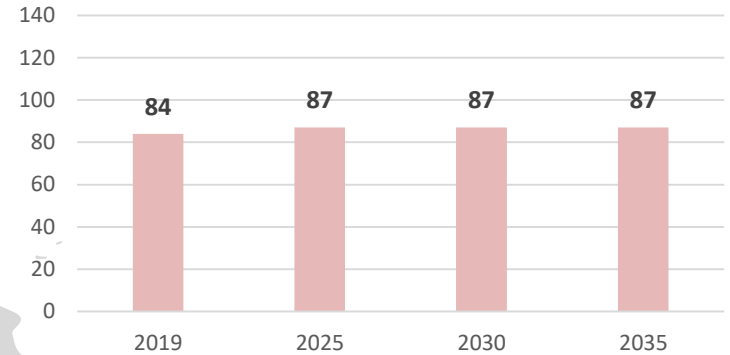
Перспективные мощности

- Более 2000 МВт
- 1000 - 2000 МВт
- 500 - 1000 МВт
- 100 - 500 МВт
- Менее 100 МВт
- Нет угольной генерации

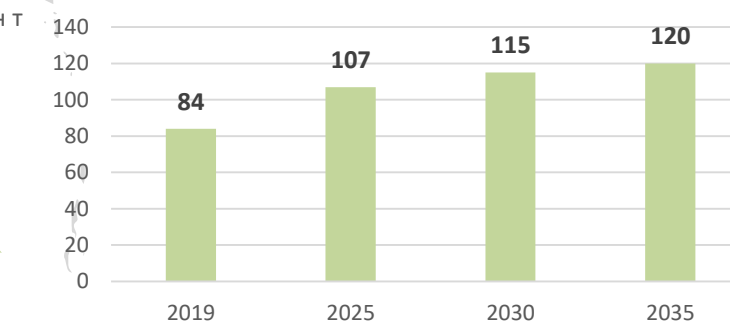
- 225 МВт
- 660 МВт
- 5500 МВт

Использование угля на электростанциях России

консервативный сценарий

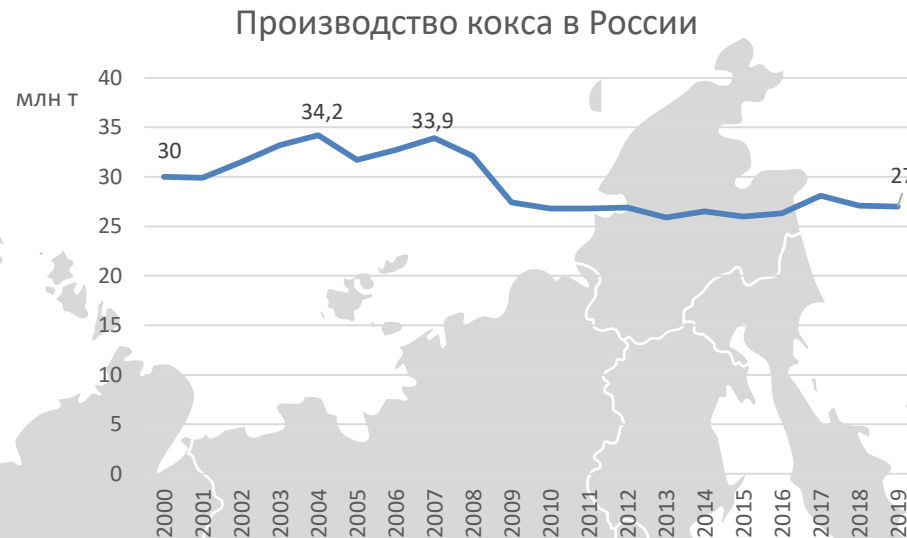


оптимистический сценарий



Источник: Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года, Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года

Коксохимия в России



Производство кокса в России достигало пика в период 2004-2007 годов, доходя до 34,2 млн т в год.

После кризиса 2009 года объем производства снизился и на прежние уровни так и не возвращался.

Объем производства в 2019 году составил 27 млн т.

Меткомбинаты

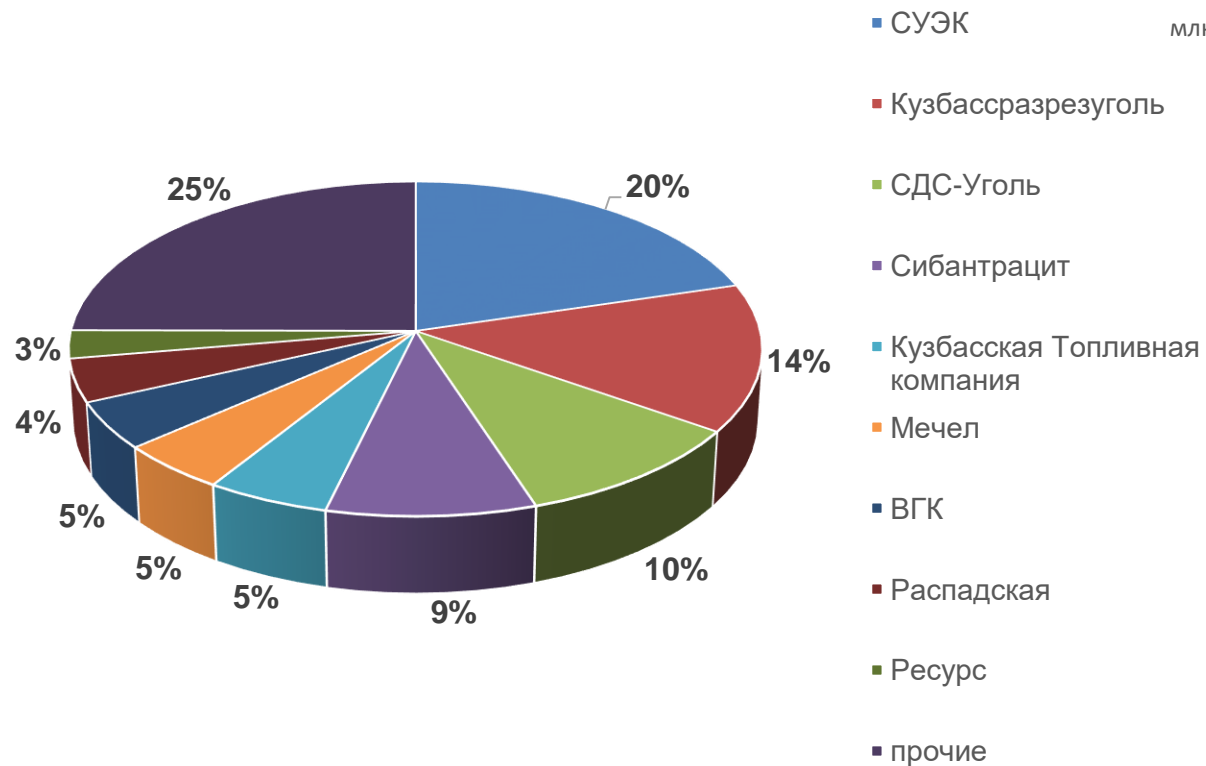
- 1 ММК
- 2 «Северсталь»
- 3 Евраз ЗСМК
- 4 «Мечел-Кокс»
- 5 НЛМК
- 6 Евраз НТМК
- 7 «Уральская Сталь»

- 8 «Алтай Кокс»
- 9 «Кокс»
- 10 «Москокс»
- 11 «Губахинский кокс»

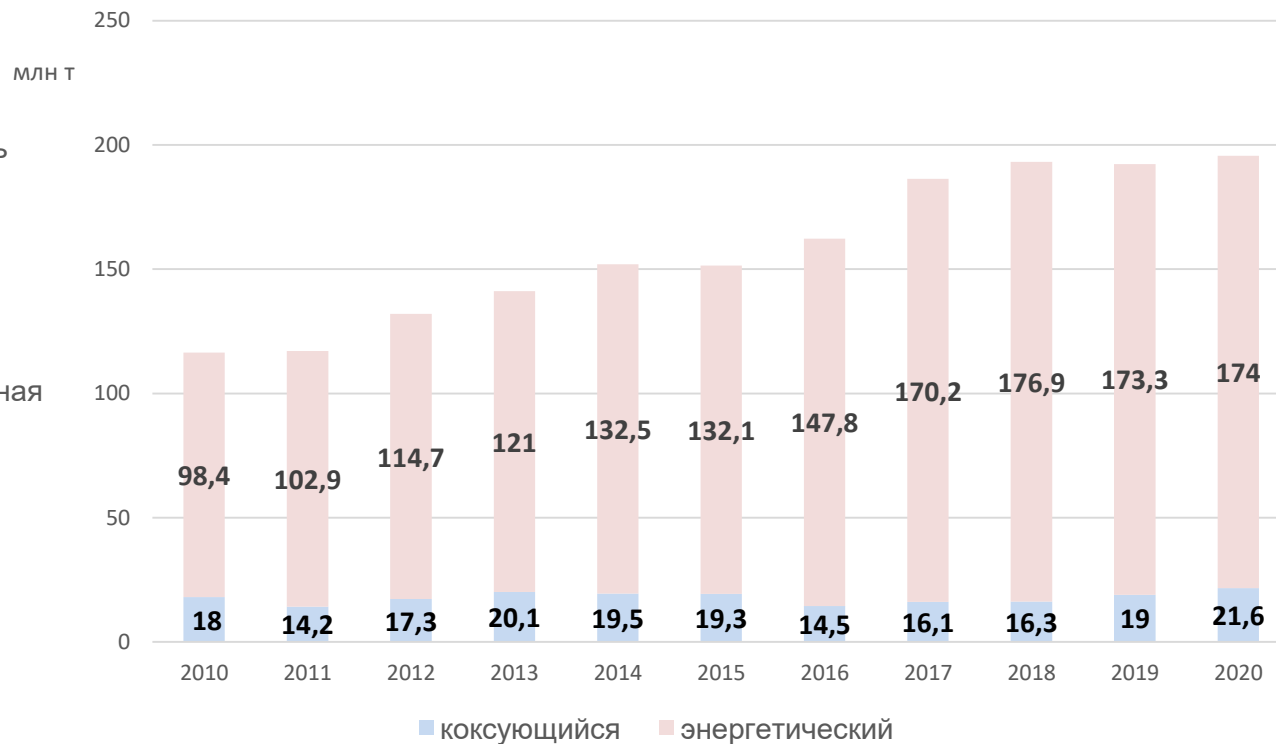
Коксохимзаводы

Экспорт угля из России

Крупнейшие экспортеры угля в России

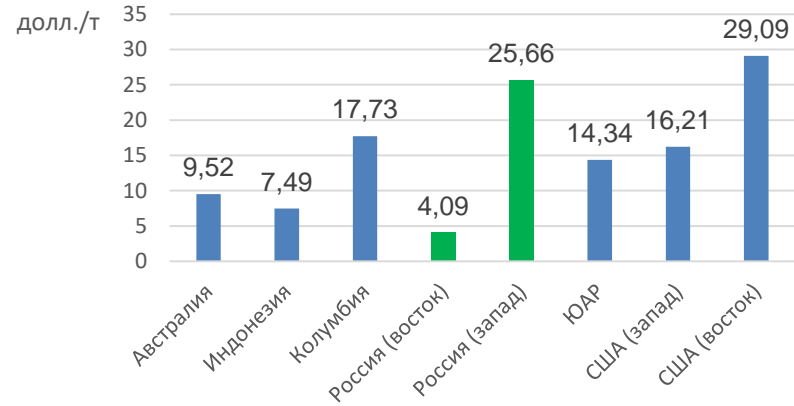


Динамика экспорта по типам угля

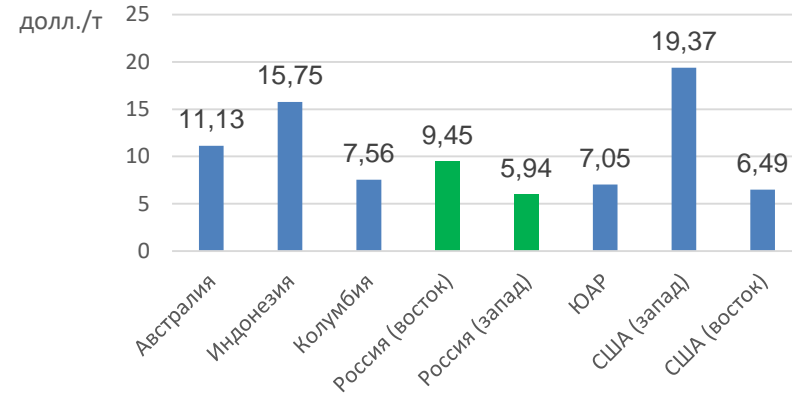


Средняя стоимость морской доставки по странам отправления

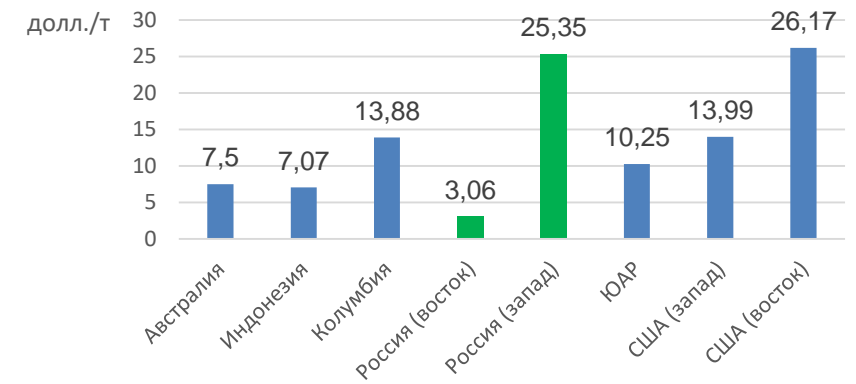
В Китай



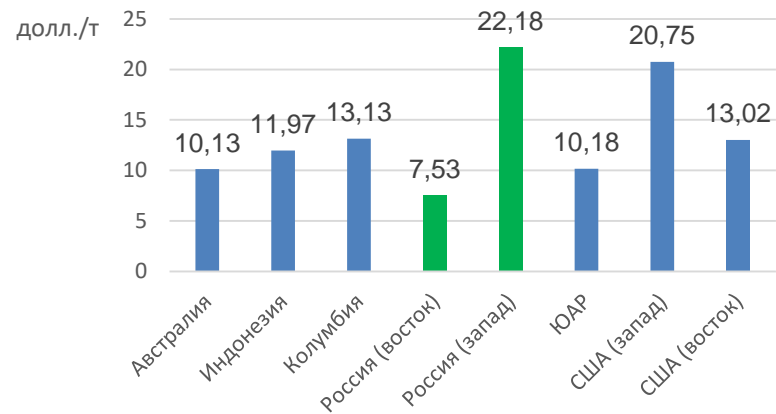
В Германию



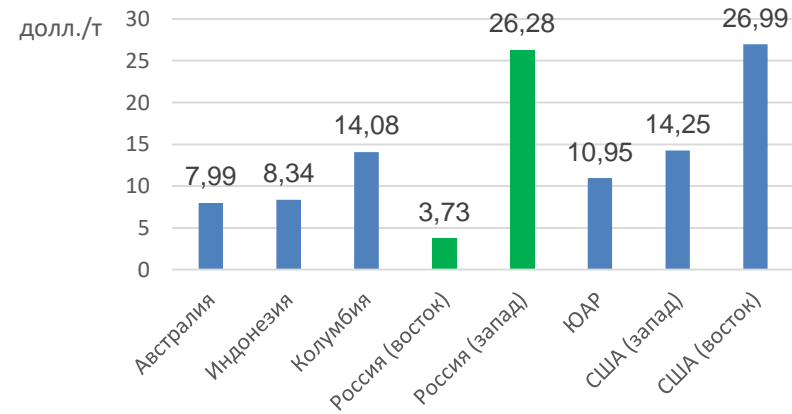
В Южную Корею



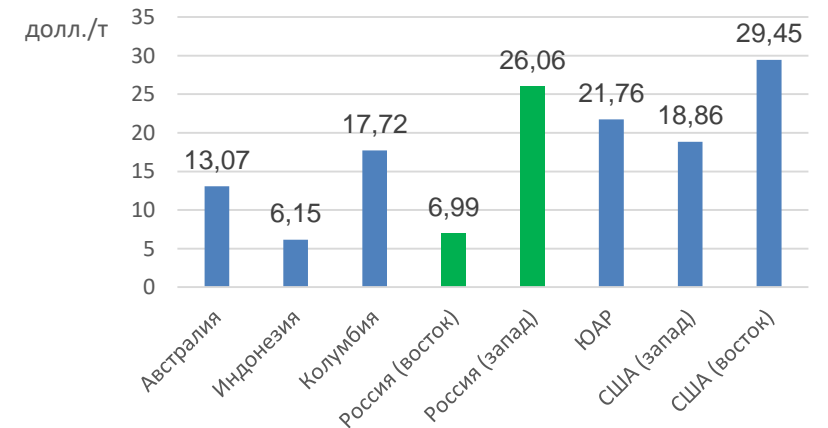
В Индию



В Японию



Во Вьетнам



Имитационное моделирование рынка угля

$$F_{inc} = \sum ((P_{ij} - C_i) * Q_{ij}) - \sum (Q_{ij} * T_{ij} * L_{ij}) \rightarrow \max$$

F_{inc} - функция прибыли угольных предприятий,
 P_{ij} - цена поставки угля предприятием для потребителя, C_i
- себестоимость добычи угля предприятием i ,
 Q_{ij} - количество угля, поставленного предприятием i
потребителю j ,
 T_{ij} - транспортные издержки при поставке угля
предприятием i поставщику j ,
 L_{ij} - лимитирующий фактор объемов поставки.

$$\sum Q_{ij} \leq V_i$$

$$\sum Q_{ij} \geq D_j$$

Q_{ij} - количество угля, поставленного
предприятием i потребителю j ,
 V_i - производственная мощность предприятия по
добыче угля,
 D_j - прогнозный спрос потребителя j на уголь.

Алгоритм моделирования перспективных показателей грузовых перевозок

Внутрироссийские факторы

Макроэкономические

- Планы развития экономики России;
- Планы развития транспортного комплекса;
- Планы развития отдельных отраслей промышленности и сельского хозяйства;

Микроэкономические

- Планы компаний грузовладельцев;
- Планы компаний-стивидоров;
- Планы компаний-операторов подвижного состава;
- Планы компаний-операторов терминально-логистических объектов.

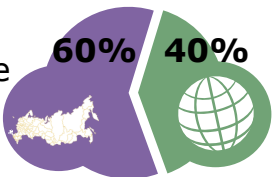
Перевозки грузов железнодорожным транспортом

Внутрироссийские

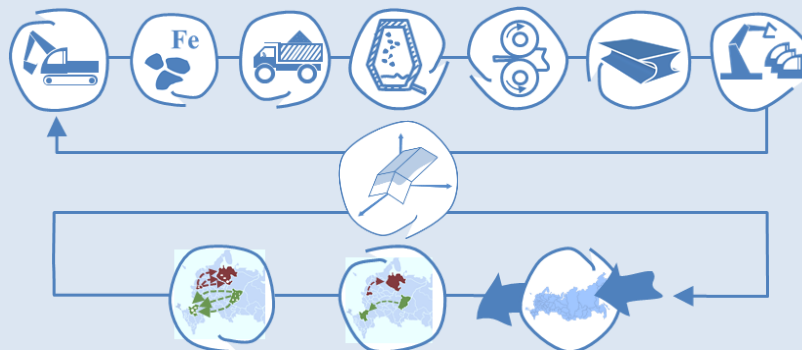
60%

40%

Международные



Межотраслевые и межрегиональные балансы



Транспортно-экономический баланс перевозок грузов



Внешние факторы

- Конъюнктура мировых товарных рынков;
- Развитие международных торгово-экономических связей;
- Развитие транспортной инфраструктуры в сопредельных странах;
- Реализация международных транспортных проектов;
- Развитие международных транспортных коридоров;
- Формирование и развитие конкурентных транспортных маршрутов.

Прогнозные показатели загрузки железнодорожного транспорта

- Общие объемы перевозок и грузооборот;
- Корреспонденции перевозок грузов;
- Грузонапряженность участков сети.



Перспективные показатели загрузки железнодорожной инфраструктуры определяются в результате анализа и оценки влияния разнородных факторов, учитываемых в рамках единого модельного комплекса

Модельный комплекс при прогнозировании перспективной грузовой базы железнодорожного транспорта

Ядром прогнозного комплекса являются межотраслевые и межрегиональные модели*

Межотраслевой баланс позволил оценить влияние происходящих в национальной экономике процессов, как на сами задействованные сектора, так и на изменение общей макроэкономической ситуации в стране.

Система региональных моделей, увязанных с межотраслевой моделью, позволила осуществить оценку перевозок грузов между регионами в зависимости от изменения макроэкономических и межотраслевых сценариев.



*разрабатывается АО «ИЭРТ» совместно с ИНП РАН

Прогноз железнодорожных перевозок

ПОДХОД «СВЕРХУ»

Прогнозы, программы и стратегии Минэкономразвития, Минпромторга, Минэнерго России и др.



Прогнозы международных организаций и учреждений IMF, WB и др.



Верификация прогнозов с привлечением консалтинговых компаний и научных организаций: РАН, MCKinsey & Company, Ernst & Young, PricewaterhouseCoopers, KPMG, НИУ ВШЭ, Фонд ЦСР, другие



Создание межотраслевых и межрегиональных балансов



Построение прогноза объемов грузовых перевозок на среднесрочную и долгосрочную перспективу



Рассмотрение и согласование основных параметров прогноза с ФОИВ



Программы и стратегии развития субъектов административно-территориального деления России



Планы развития смежных видов транспорта

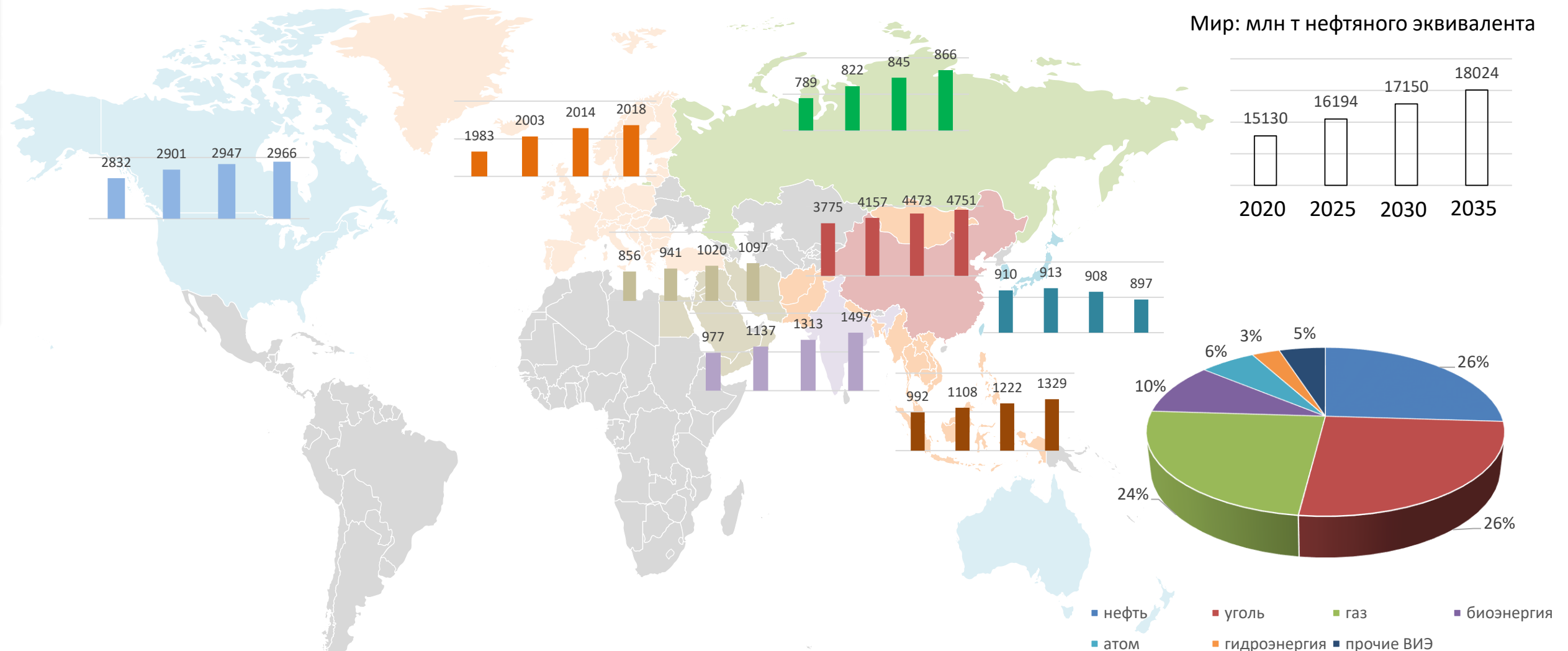


Заявки от компаний-грузовладельцев и стивидорных организаций



ПОДХОД «СНИЗУ»

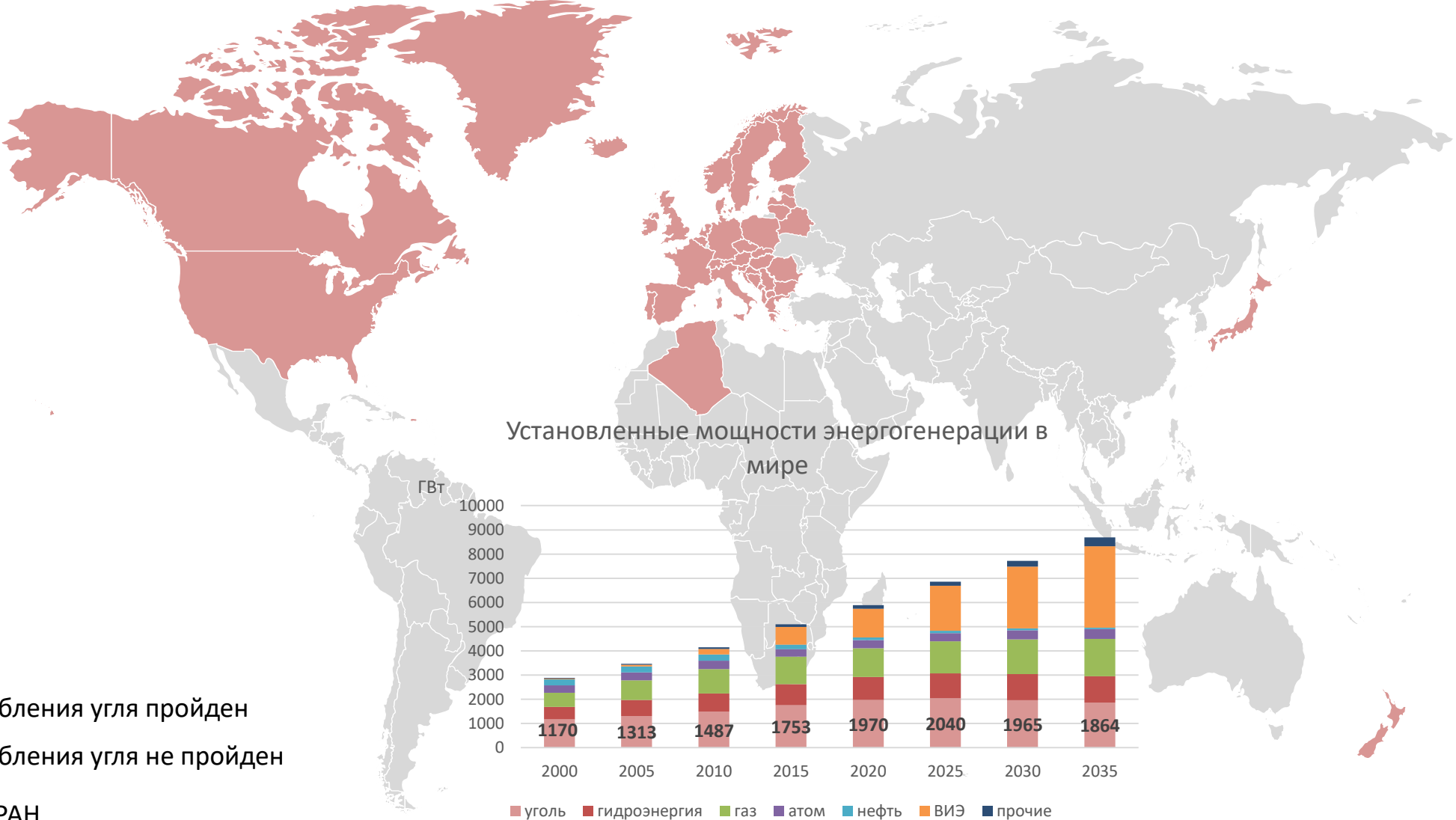
Потребление первичных энергоресурсов



Источник: ИНЭИ РАН

К 2040 год уголь должен сохранить до 26% в мировом потреблении первичных энергоресурсов

Перспективы потребления угля



Пик потребления угля пройден
Пик потребления угля не пройден

Источник: ИНЭИ РАН

Спасибо за внимание!

Адрес: 105066, г. Москва, Новорязанская ул., 24
Телефон: (499) 262-89-96
Факс: (499) 262-82-31
e-mail: iedt@iedt.ru