ЦЕНТР ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА

Улучшение качества воздуха за счет перехода на экологически чистый транспорт и обезуглероживания систем отопления и расширения зеленых зон

Айбек Кадыралиев,
Ажар Жолонбаева

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ЭКОНОМИКА МИНИСТРЛИГИ

КЭУ ИИУ

Европа Биримдиги тарабынан биргелешип каржыланат

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

германия кызматташтыгы
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Аткаруучу:
giz

Качество воздуха в Бишкеке: системная проблема и необходимость комплексных решений

ЦЕНТР ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА

PM 2.5 - один из ключевых экологических и медико-социальных рисков. Наибольшая нагрузка - в городах (особенно в г. Бишкек)

Мера 2 ориентирована на ключевые источники PM 2.5:

Транспорт | **Отопление** | **Зелёные зоны**

Цель: определить, как будет меняться качество воздуха в г.Бишкек при изменении структуры источников загрязнения (оценить, как разные меры влияют на выбросы $PM_{2.5}$ по отдельности и в комбинации)

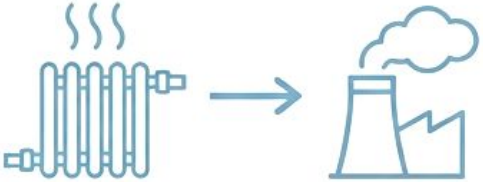
Риски фрагментарных решений: что позволяет увидеть CLD

ЦЕНТР ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА

- Мера 2 изначально заложена как комплексная. CLD позволяет увидеть обратные связи, ограничения и ловушки, какие факторы формируют уровень загрязнения и как политика на них влияет



Ловушка транспорта: EV без зарядной инфраструктуры → Ограниченный эффект.



Ловушка отопления: Электроотопление без чистой генерации → Рост выбросов на ТЭЦ.



Ловушка озеленения: Озеленение без контроля пыли → Переоценка эффекта.

Логика меры: причинно-следственные связи (CLD)

CENTER FOR ECONOMIC MODELING AND ANALYSIS

- В конце - концентрация PM 2.5
- Источники: транспорт, отопление, пыль
- Политика воздействует через бюджет и стимулы
- Управляющая петля политики

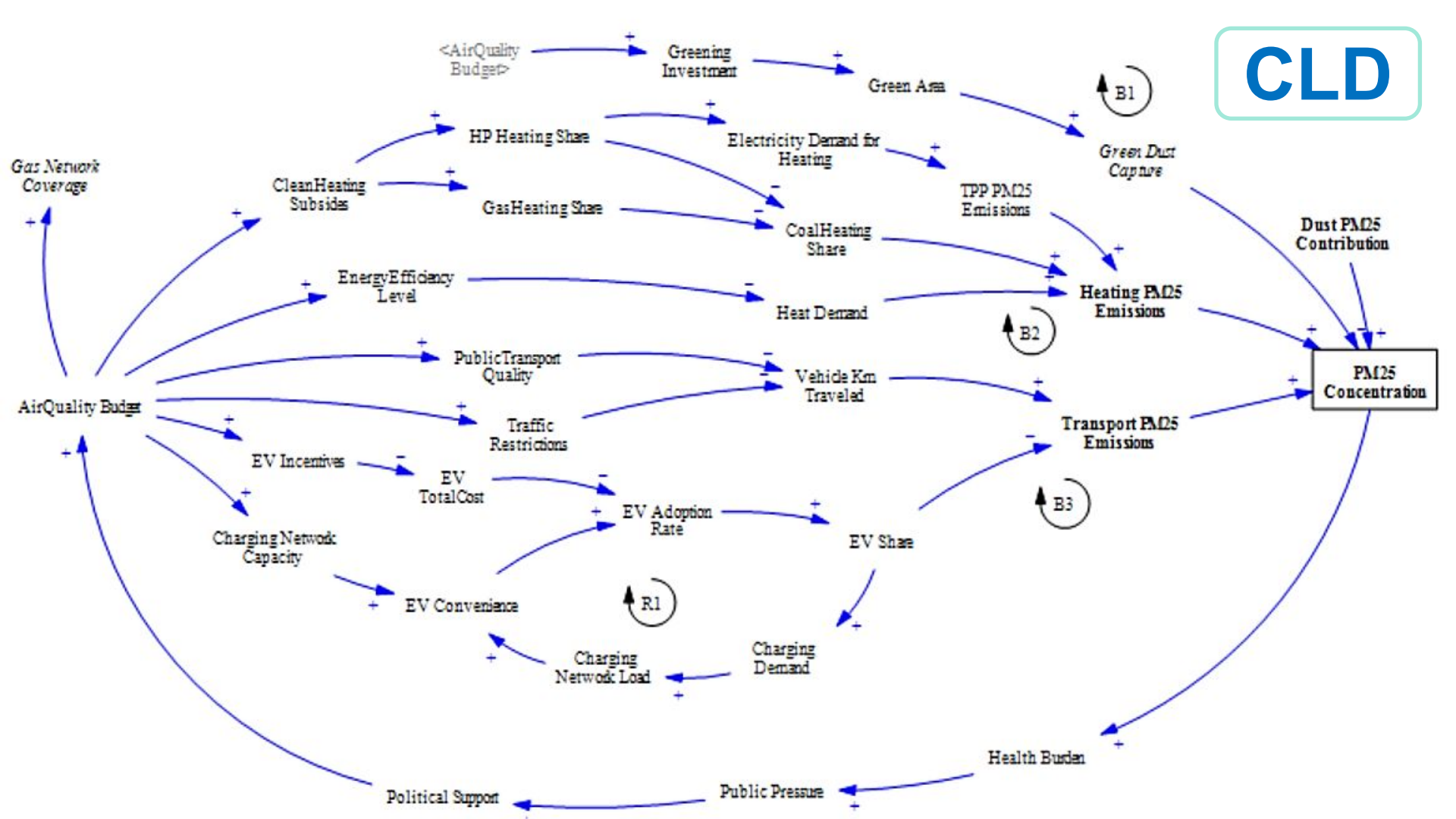


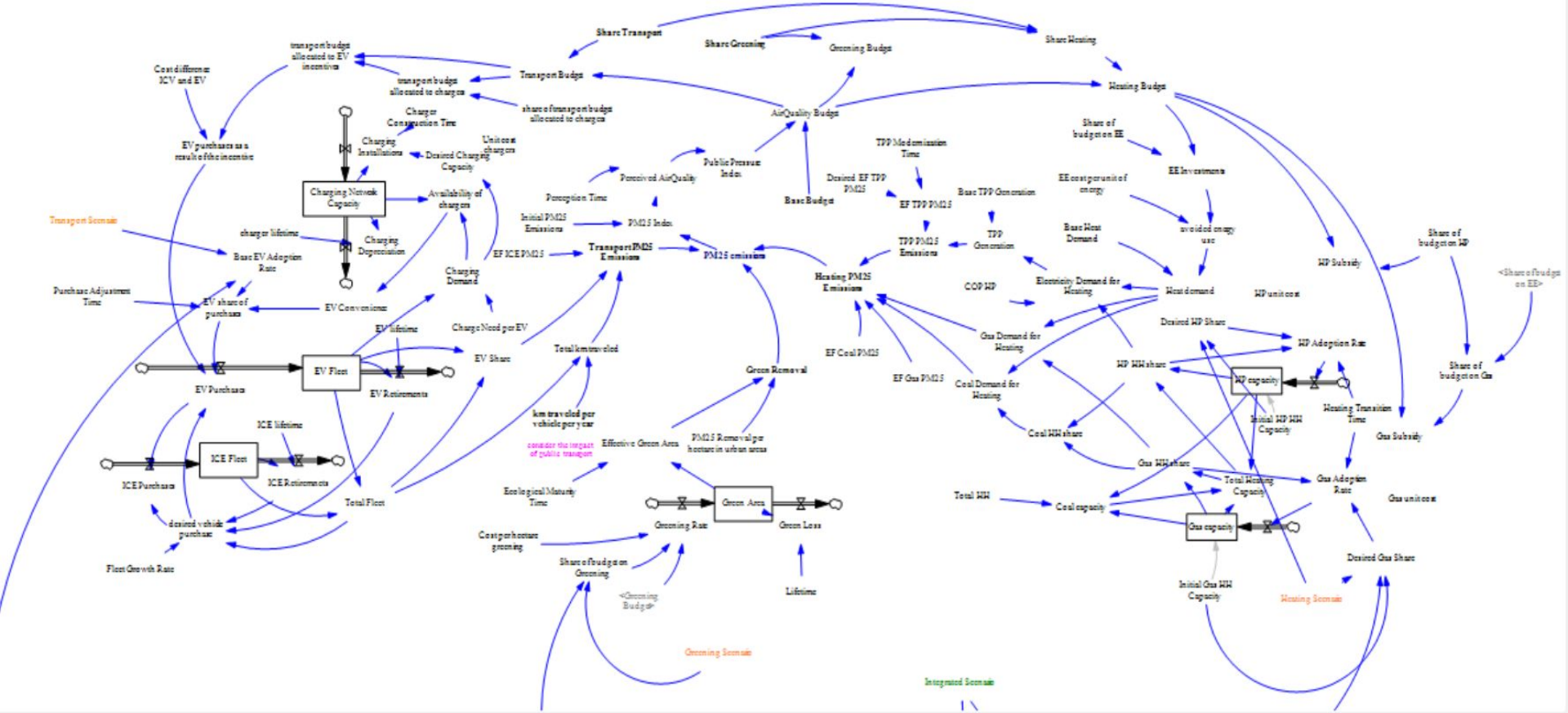
Логика системно-динамической модели

ЦЕНТР ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА

Модель отражает вклад трёх основных направлений в изменение $PM_{2.5}$ и позволяет тестировать отдельные и комплексные меры.

- Транспорт: автопарк, EV, зарядная инфраструктура, транспортные выбросы
- Отопление: уголь, газ, тепловые насосы, нагрузка на ТЭЦ, выбросы от отопления
- Зелёные зоны: площадь озеленения, лаг экологического эффекта, удаление $PM_{2.5}$
- Обратная связь политики: $PM_{2.5}$ → общественное давление → бюджет → меры


CLD
<AirQuality Budget>
Greening Investment
Green Area
B1
Gas Network Coverage
HP Heating Share
Electricity Demand for Heating
Green Dust Capture
CleanHeating Subsides
GasHeating Share
TPP PM25 Emissions
CoalHeating Share
Dust PM25 Contribution
EnergyEfficiency Level
Heat Demand
Heating PM25 Emissions
B2
PublicTransport Quality
Vehicle Km Traveled
PM25 Concentration
AirQuality Budget
Traffic Restrictions
Transport PM25 Emissions
EV Incentives
EV TotalCost
B3
EV Adoption Rate
Charging Network Capacity
EV Share
EV Convenience
R1
Charging Demand
Charging Network Load
Health Burden
Political Support
Public Pressure


Share Transport
Share Greening
Share Heating
Greening Budget
transport budget allocated to EV incentive
Cost difference ICV and EV
Transport Budget
transport budget allocated to chargers
share of transport budget allocated to chargers
Heating Budget
AirQuality Budget
Charger Construction Time
Charging Installations
Unit cost chargers
Desired Charging Capacity
EV purchases as a result of the incentive
Charging Network Capacity
Availability of chargers
Charging Depreciation
Perception Time
Perceived AirQuality
Public Pressure Index
Base Budget
TPP Modernization Time
Share of budget on EE
EE Investments
Desired EF TPP PM25
EF TPP PM2.5
Base TPP Generation
EE cost per unit of energy
Transport Scenario
charger lifetime
Base EV Adoption Rate
Initial PM25 Emissions
PM2.5 Index
Transport PM25 Emissions
PM2.5 emissions
TPP PM2.5 Emissions
TPP Generation
Base Heat Demand
avoided energy use
HP Subsidy
Share of budget on HP
Purchase Adjustment Time
EV share of purchase
EV Convenience
Charging Demand
EF ICE PM2.5
Heating PM25 Emissions
COP HP
Electricity Demand for Heating
Heat demand
HP unit cost
<Share of budget on EE>
EV lifetime
Charge Need per EV
Gas Demand for Heating
Desired HP Share
HP Adoption Rate
EV Purchase
EV Fleet
EV Share
Total km traveled
EF Coal PM25
EF Gas PM2.5
HP HH share
HP capacity
Share of budget on Gas
EV Retirements
Green Removal
Coal Demand for Heating
Heating Transition Time
ICE lifetime
km traveled per vehicle per year
Initial HP HH Capacity
Coal HH share
Gas Subsidy
ICE Fleet
consider the impact of public transport
Effective Green Area
PM2.5 Removal per hectare in urban areas
Gas HH share
ICE Purchases
ICE Retirements
Total Fleet
Ecological Maturity Time
Total Heating Capacity
Gas Adoption Rate
Total HH
Coal capacity
Gas unit cost
Green Area
Gas capacity
desired vehicle purchase
Greening Rate
Green Loss
Cost per hectare greening
Desired Gas Share
Fleet Growth Rate
Share of budget on Greening
Initial Gas HH Capacity
Heating Scenario
<Greening Budget>
Lifetime
Greening Scenario
Integrated Scenario

Сценарии и ключевые результаты

CENTER FOR ECONOMIC MODELING AND ANALYSIS

Сценарий	Что меняется в модели	Ключевой результат к 2035 г.	Интерпретация
Baseline (BAU)	Сохраняется текущая структура отопления, транспорта и зелёных зон	**2 884 т/год $PM_{2.5}$**	Без дополнительных реформ выбросы остаются высокими и умеренно растут
Сценарий 1. Реформа отопления	Рост доли газа и тепловых насосов, сокращение доли угля	**1 765 т/год** (**–39%** к BAU)	Наиболее сильный эффект; отопление — главный рычаг снижения $PM_{2.5}$
Сценарий 2. Электрификация транспорта	Ускоренный рост EV в автопарке	Транспортные выбросы: **137 т/год** против **159 т/год** в BAU (**–14%**)	Сдерживает рост транспортного загрязнения, но сам по себе даёт ограниченный эффект на общий $PM_{2.5}$
Сценарий 3. Расширение зелёных зон	Ускоренный рост площади зелёных насаждений	**2 819 т/год** (**–2.3%** к BAU)	Даёт умеренный, но устойчивый накопительный эффект
Сценарий 4. Интегрированный	Одновременно: отопление + транспорт + озеленение	**2 024 т/год** (**–30%** к BAU)	Наилучший результат достигается при комплексной реализации мер

Ключевые выводы

CENTER FOR ECONOMIC MODELING AND ANALYSIS

- 1. Без дополнительных реформ качество воздуха существенно не улучшается.
- 2. Наибольший эффект даёт реформа отопления.
- 3. Электрификация транспорта важна, но сама по себе не решает проблему.
- 4. Озеленение даёт дополнительный накопительный эффект + качество воздуха
- 5. Наилучший результат достигается при комплексной реализации мер.
- 6. Главный приоритет политики - отопительный сектор.
- 7. Рекомендуемый подход - поэтапный, но межсекторальный. Оптимальная стратегия для Бишкека - не выбор одной меры, а поэтапная реализация согласованного пакета решений: реформы отопления как главного приоритета, ускорения перехода к более чистому транспорту и расширения зелёной инфраструктуры как дополнительного усиливающего компонента.

Синергии

CENTER FOR ECONOMIC MODELING AND ANALYSIS

- 1. Отопление + зелёные зоны. Снижение выбросов в отоплении уменьшает общий поток $PM_{2.5}$, а озеленение дополнительно увеличивает удаление загрязняющих частиц. По отдельности эффект зелёных зон умеренный, но в сочетании с реформой отопления он усиливает общий результат.
- 2. Транспорт + отопление. Даже если транспортный сценарий сам по себе не даёт такого сильного снижения, как отопление, он помогает не допустить дальнейшего роста выбросов со стороны автопарка. То есть отопление снижает основной «текущий» вклад, а транспорт ограничивает «будущее давление».
- 3. Комплексный сценарий. Интегрированный результат показывает, что меры не просто складываются механически, а дают более устойчивую траекторию снижения. Это и есть главный аргумент в пользу межсекторальной политики.

Возможные побочные эффекты и ограничения

CENTER FOR ECONOMIC MODELING AND ANALYSIS

- 1. Электрификация отопления может увеличивать нагрузку на ТЭЦ. Если доля тепловых насосов или электроотопления растёт, а генерация остаётся углеродо- и пылеёмкой, часть экологического выигрыша может компенсироваться ростом нагрузки на ТЭЦ. Это не отменяет эффект, но означает, что электрификация отопления должна идти в связке с модернизацией генерации.
- 2. Электрификация транспорта без инфраструктуры работает хуже.
- 3. Озеленение даёт эффект с лагом. Зелёные зоны не дают мгновенного результата. Это важно политически: если ожидать быстрый эффект, озеленение может быть переоценено как самостоятельная мера.
- 4. Результаты чувствительны к proxy-параметрам.

Меры

CENTER FOR ECONOMIC MODELING AND ANALYSIS

- 1. Сделать реформу отопления главным приоритетом: расширение доступа к газу; поддержку перехода на тепловые насосы; поэтапное снижение зависимости домохозяйств от угля; сочетание технологической замены с мерами по энергоэффективности.
- 2. Рассматривать транспорт как второе стратегическое направление: не даёт мгновенного перелома общей траектории, но важна как способ сдержать дальнейший рост загрязнения. Политика здесь должна включать: стимулы для покупки EV; развитие зарядной инфраструктуры; меры по повышению удобства использования EV.
- 3. Использовать озеленение как обязательную поддерживающую меру. Озеленение не заменяет реформы в отоплении и транспорте, но повышает устойчивость городской среды и даёт накопительный эффект. Его стоит включать в пакет мер, а не рассматривать отдельно.
- 4. Продвигать не отдельные инициативы, а пакет мер, где: отопление — основной приоритет, транспорт — среднесрочный фактор, озеленение — усилитель эффекта.
- 5. Связать меры по отоплению с энергетической политикой. Если растёт электрическое отопление, нужно параллельно учитывать: возможности ТЭЦ и энергосистемы; модернизацию генерации; риски переноса загрязнения из домохозяйств в энергетический сектор.

Направления для улучшения модели

CENTER FOR ECONOMIC MODELING AND ANALYSIS

- Уточнить исходные данные по городу
- Добавить экономический блок (стоимость мер; стоимость на 1 т сокращения $PM_{2.5}$; стоимость на душу населения)
- Уточнить сценарии по времени и реализуемости

Блок модели	Показатель	Использованное значение	Источник / тип данных
Загрязнение воздуха	Среднегодовая концентрация $PM_{2.5}$ в Бишкеке	51.4 мкг/м³	Всемирный банк, baseline для калибровки
Транспорт	Общий автопарк Бишкека	~427 тыс. ТС	Открытые городские и медийные данные
Транспорт	EV Fleet (baseline)	~4.6 тыс. EV	Экспертная proxy-оценка: 30% от 15,278 EV по КР
Транспорт	Электробусы	120	Подтверждённые данные мэрии
Транспорт	Зарядные станции	85	Подтверждённые данные мэрии
Транспорт	Коэффициент выбросов $PM_{2.5}$ от автотранспорта	0.02 г/vehicle-km	AUCA / Tian Shan Policy Center, proxy для Бишкека
Отопление	Доля газа в baseline	13.2%	Proxy-оценка по частному сектору Бишкека
Отопление	Доля электро/HP в baseline	10.5%	Proxy-оценка по частному сектору Бишкека
Отопление	Базовый спрос на отопление	2,218,983 Gcal/year (~9.29 млн GJ/year)	Всемирный банк, оценка по Бишкеку
Отопление / ТЭЦ	Выработка Бишкекской ТЭЦ	1.525 млрд кВт·ч электроэнергии; 1.441 млн Гкал тепловой энергии	Официальные данные по ТЭЦ
Отопление	EF для угля/газа/ТЭЦ	Международные коэффициенты и proxy	При отсутствии локальных факторов выбросов
Зелёные зоны	Площадь зелёных насаждений	~4.9 тыс. га	Официальная статистика по Бишкеку
Зелёные зоны	Удаление $PM_{2.5}$ зелёными зонами	~23.33 кг $PM_{2.5}$/га/год	Научный proxy по urban greening
Бюджет	Бюджетная база модели	Бюджет города Бишкек	Использован как нормировочная база реакции системы
Поведенческий блок	Perception Time, распределение бюджета по направлениям	Экспертные параметры	Использованы при отсутствии прямых наблюдаемых данных

CENTER FOR ECONOMIC MODELING AND ANALYSIS