МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ, ГЕОЛОГИИ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Акционерное общество «Жасыл даму»

Анализ прогнозных выбросов парниковых газов климатических сценариев декарбонизации с выработкой предложений по совершенствованию проводимых государством политик

Астана, 2022 год

Лист согласования

Анализ прогнозных выбросов парниковых газов климатических сценариев декарбонизации с выработкой предложений по совершенствованию проводимых государством политик

№	ФИО	Должность	Подпись
1	Кабдолданов Нуржан Кенесбаевич	Заместитель Председателя Правления, Член Правления АО «Жасыл даму»	
2	Насирхан Рустам	Директор департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	
3	Карибаева Мадина Кажимеровна	Менеджер департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	
4	Сайлауова Назым Алматкызы	Менеджер департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	
5	Бакдолотов Айдын Айсултанович	Менеджер департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	
6	Колягин Игорь Владимирович	Менеджер департамента моделирования, анализа и прогнозирования АО «Жасыл даму»	

Содержание

Введение 5
1. Сельское хозяйство и ЗИЗЛХ 6
1.1. Методология 12
1.2. Описание результатов в сценарии декарбонизации в сельскохозяйственном секторе 57
1.2.1. Последствия изменения климата: сельское хозяйство 62
1.2.2. Последствия изменения климата: животноводство 66
1.2.3. Растениеводство 67
1.2.4. Животноводство 69
1.2.5. Выбросы: ЗИЗЛХ 72
1.2.6. Анализ затрат и выгод в сельском хозяйстве по сценарию декарбонизации 75
2. Сектор транспорта. 78
2.1. Методология 83
2.2. Описание результатов в сценарии декарбонизации в секторе транспорта 100
2.2.1. Частный транспорт и автобусный транспорт 102
2.2.2. Спрос на энергию в секторе транспорта 104
2.2.3. Выбросы транспорта и загрязнители воздуха 106
2.2.4. Внешние факторы, связанные с сектором транспорта 109
2.2.5. Анализ затрат и выгод в секторе транспорта по сценарию декарбонизации 115
3. Сектор Отходов 118
3.1. Виды рассматриваемых отходов 120
3.1.1. Твердые бытовые отходы (ТБО) 120
3.1.2. Сточные воды и осадок очистных сооружений 121
3.1.3. Сельскохозяйственные отходы 122
3.1.4. Медицинские отходы 125
3.2. Методология 129
3.3. Описание результатов в сценарии декарбонизации в секторе отходов 153
3.3.1. Образование и сбор отходов 154
3.3.2. Остатки сельскохозяйственного производства 155
3.3.3. Образование сточных вод и осадка 157
3.3.4. Управление отходами и очистка сточных вод 158
3.3.5. Выбросы от управления отходами 160

3.3.6. Потенциал производства биоэнергии 163
3.3.7. Анализ затрат и выгод в секторе отходов 168
4. Сектор энергетики 171
4.1. Методология 171
4.1.1. Политики и меры 172
4.2. Описание результатов в сценарии декарбонизации в секторе энергетики 194
4.2.1. Общие предположения для всех сценариев 194
4.2.2. Выбросы парниковых газов по сектору энергетики 196
Заключение 220
Список использованной литературы 221

Введение

Сценарный анализ и разработка путей декарбонизации были произведены с использованием обновлённых версий моделей TIMES и SD. Модель TIMES ищет технологически осуществимый, но наименее затратный путь к заданной цели, в данном случае к определенному уровню сокращения выбросов ПГ. SD модель включает в себя социальные, экономические и экологические показатели и объединяет прямые, косвенные и индуцированные экономические и общественные затраты и выгоды от различных путей отраслевого развития

TIMES – это целостная технологическая модель «снизу вверх», использующая линейное программирование на средне- и долгосрочных временных горизонтах. SD – это набор моделей системной динамики, разработанных для понимания нелинейного поведения сложных систем с течением времени и сочетающих запасы, потоки, внутренние контуры обратной связи и временные задержки.

В сценарии глубокой декарбонизации в Казахстане планируются дополнительные усилия для достижения целей, предусмотренных Парижским соглашением, включая рыночную политику, политику регулирования и государственные инвестиции.

1. Сельское хозяйство и ЗИЗЛХ

Модель сектора сельского хозяйства была разработана для анализа потерь сельскохозяйственного производства, связанных с изменением климата, и выбросов в результате землепользования и изменения почвенного покрова (ЗИЗЛХ) и сельского хозяйства. Модель создана для симуляции сельскохозяйственного производства в четырех географических районах Казахстана с использованием данных об осадках для каждого из четырех регионов.

Модель секторов сельского хозяйства была разработана с разбивкой по регионам, чтобы охватить различные погодные условия в разных частях страны. Четыре географические области, используемые в системно-динамической модели, согласуются с группировкой областей в других моделях (TIMES и CGE). Таблица 1.1 содержит обзор областей, рассматриваемых в каждой зоне страны.

Таблица 1.1- Агрегирование областей по четырем зонам страны

Зона для анализа	Рассматриваемые области
Зона 1	— Акмолинская область — Костанайская область — Павлодарская область — Северо-Казахстанская область — Восточно-Казахстанская область — Город Нур-Султан
Зона 2	— Актюбинская область — Алматинская область — Атырауская область — Западно-Казахстанская область — Карагандинская область — Город Алматы
Зона 3	— Кызылординская область — Мангистауская область
Зона 4	— Жамбылская область — Город Шымкент

Южный Казахстан и Туркестанская область не рассматриваются ни в одной из четырех зон, как и в допущениях TIMES.

В модели Vensim нижние индексы используются для симуляции производительности каждой области. Нижние индексы — это функция Vensim, которая позволяет использовать одни и те же структурные компоненты для разных подгрупп переменной (например, сельскохозяйственное производство по площади, потребление энергии по типу транспортного средства). Используемые нижние индексы представлены в начале документации к каждой отраслевой модели.

В модели сельского хозяйства используется нижний индекс "Зона", как показано таблице 1.1 выше. Кроме того, в модели сельского хозяйства используется нижний индекс "Типы культур", который содержит следующие культуры:

1) Зерновые (кукуруза, пшеница, ячмень, рис и т. д.)
2) Масличные культуры
3) Картофель
4) Овощи открытого грунта и свекла
5) Фрукты
6) Виноград
7) Остальные (все, что не было отражено выше)

Производство животноводческой продукции рассчитывается для следующих видов деятельности и скота:

1) Крупный рогатый скот
2) Молочный скот
3) Овцы и козы
4) Свиньи
5) Лошади
6) Остальной домашний скот (буйволы, верблюды, мулы и ослы, домашняя птица, кролики)

Экономические показатели сельскохозяйственного сектора (доходы от производства) определяются производством, потерями на этапах товародвижения (например, из-за отсутствия хранилищ, инфраструктуры) и рыночными ценами.

Воздействие изменения климата рассматривалось как в связи с адаптацией к климату, так и в контексте смягчения последствий.

Производство в первую очередь определяется (а) сельскохозяйственными угодьями (измеряется в гектарах) и (б) продуктивностью земель (измеряется в тоннах продукции с гектара).

На рисунке 1.1 представлена схема причинно-следственных связей в сельскохозяйственном секторе.

Экономические показатели сельскохозяйственного сектора (доход от производства) определяются объемом производства, потерями на этапах перемещения продукции (например, из-за отсутствия складских помещений, инфраструктуры) и рыночными ценами. Последствия изменения климата рассматривались как в связи с адаптацией к климату, так и в контексте смягчения последствий.

Производство в основном определяется сельскохозяйственными угодьями (измеряется в гектарах) и продуктивностью земель (измеряется в тоннах продукции с гектара).

- Наличие сельскохозяйственных угодий зависит от спроса на сельскохозяйственную продукцию, который определяется населением и производственно-сбытовой цепочкой в сельскохозяйственном секторе страны (например, спрос на продовольственные товары, такие как фрукты и овощи, со стороны конечных потребителей или пищевой промышленности для переработки). Вторым фактором, влияющим на сельскохозяйственные угодья, является использование техники, которая позволяет фермеру расширять свои посевные площади и, следовательно, вести коммерческую и промышленную деятельность.

На продуктивность земель также влияет механизация, наряду с рядом других факторов:

- антропогенные: механизация, внесение удобрений, семеноводство;

- природные: вредители и болезни, усугубляемые изменением климата; доступность воды, на которую влияет изменение климата и инфраструктура, например, для орошения; и деградация земель, вызванная машинами и химическими удобрениями.

Существует несколько мер по улучшению экономических показателей сектора при одновременном сокращении выбросов, вызванных главным образом потерей почвы, отходами биомассы и обезлесением (или изменениями в почвенном покрове).

- Во-первых, экономический рост приводит к увеличению частных доходов и, следовательно, налоговых поступлений, которые могут быть инвестированы в инфраструктуру (например, дороги, склады - создавая цикл усиления), чтобы уменьшить потери при перемещении товаров, и в ирригацию для расширения доступа к водным ресурсам (создавая балансирующий цикл);

- Кроме того, поскольку увеличение прибыли может увеличить инвестиции в использование химических удобрений, которые повышают продуктивность земель (цикл повышения), но снижают качество почвы в среднесрочной перспективе (балансирующий цикл), можно одновременно планировать учебные мероприятия (по методам устойчивого развития и диверсификации культур), преимуществам органических удобрений (цикл усиления);

- Наконец, дополнительные меры включают стимулы для создания цепочки создания стоимости для диверсификации источников дохода, в том числе за счет цифровизации (которая может поддерживать сектор на разных уровнях, от мониторинга вредителей и болезней до улучшения мониторинга спроса).

Аналогичная динамика была изучена в животноводстве, с цифровизацией для поддержки разведения и здоровья животных; повторное использование навоза как часть стратегии сокращения выбросов (например, для производства биогаза) и для повышения продуктивности земель (например, органические удобрения). Основными направлениями деятельности в этом секторе являются создание

кооперативов (или более крупных форм сельскохозяйственной деятельности для достижения эффекта масштаба, который может сделать повторное использование и переработку навоза экономически целесообразными) и совершенствование методов выпаса скота (от экстенсивного к интенсивному), чтобы воспользоваться преимуществами нового синергизма и замедлить деградацию земель.

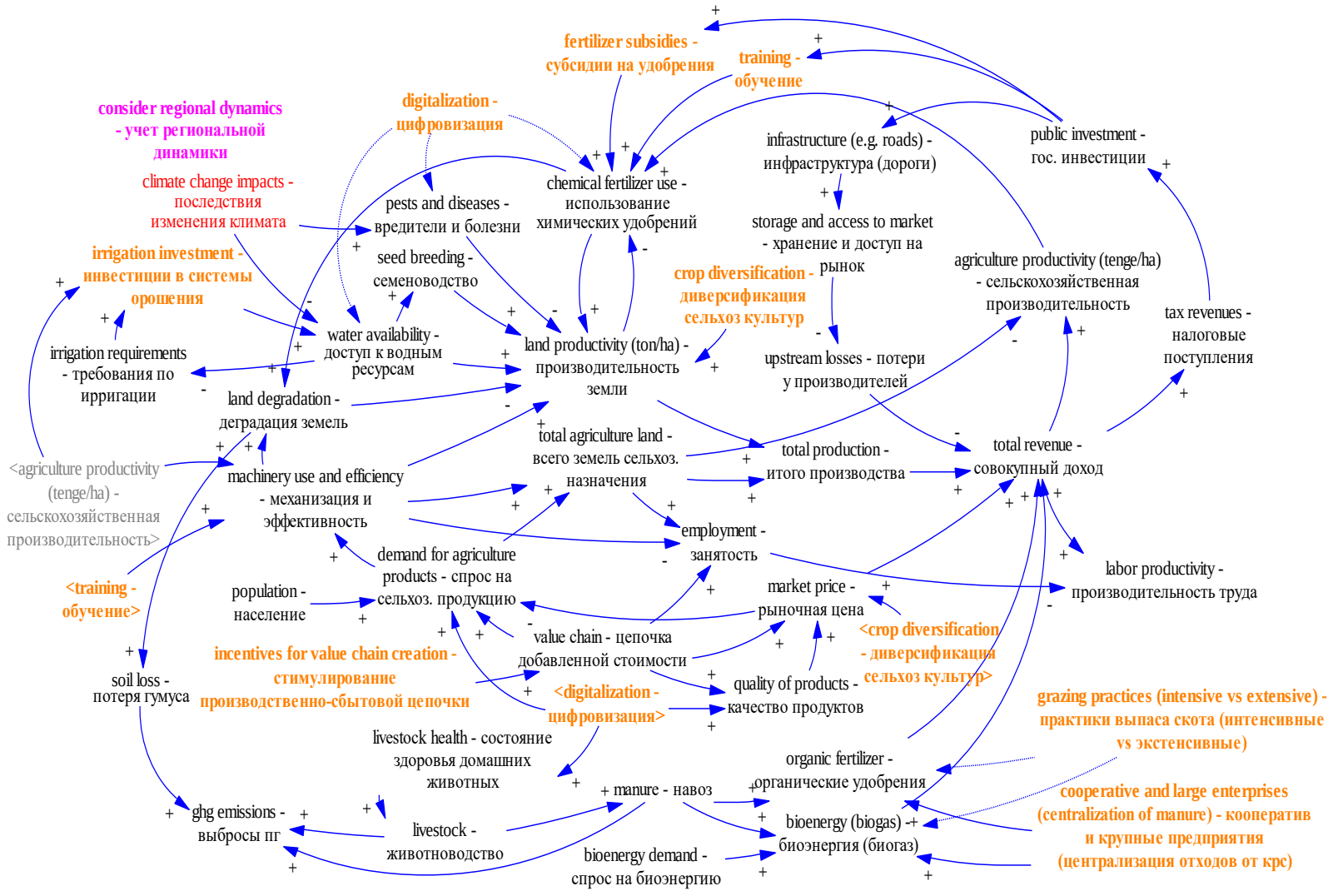


Рисунок 1.1 - Диаграмма причинно-следственных связей (CLD) или системная карта сельскохозяйственного сектора

1.1. Методология

Добавленная стоимость и занятость

Добавленная стоимость сельскохозяйственного сектора рассчитывается как сумма ВВП, сгенерированного в каждой из четырех географических зон. На рисунке 1.2 представлена древовидная диаграмма причин с переменными, используемыми для расчета добавленной стоимости сельского хозяйства в четырех зонах.

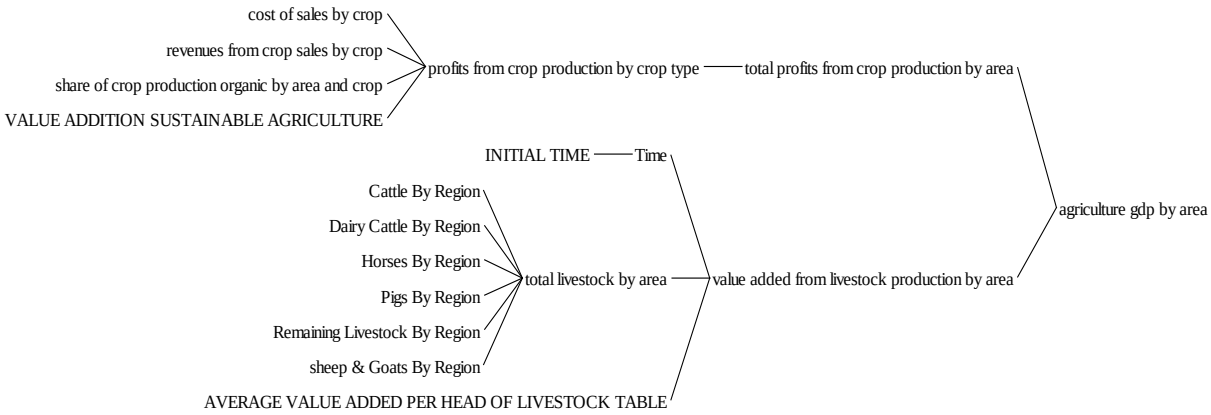


Рисунок 1.2 - Причинно-следственное дерево роста ВВП сельского хозяйства по зонам

ВВП сельского хозяйства по районам рассчитывается как сумма прибыли от растениеводства и животноводства в каждой из соответствующих зон. В прибыли от растениеводства учитывается выручка и себестоимость продаж для каждого вида сельскохозяйственных культур.

Уравнение, используемое для расчета прибыли от растениеводства, выглядит следующим образом:

прибыль от продукции растениеводства по типу культуры [тип культур] = (выручка от продажи урожая по культурам [зона страны,типы культур] * (1-доля органического растениеводства по зонам и культурам[зона страны,типы культур]) + доходы от продажи урожая по культурам[зона страны,типы культур] * доля органического

растениеводства по зонам и культурам[зона страны,типы культур] * (1+ДОБАВЛЕННАЯ СТОИМОСТЬ УСТОЙЧИВОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА)) - себестоимость реализованной продукции растениеводства[зона страны, типы культур]

Допущение модели состоит в том, что производители органической продукции могут реализовывать урожай по более высоким ценам, чем традиционные производители. Доля органического сельского хозяйства в уравнении прибыли от растениеводства используется для отнесения дополнительной добавленной стоимости к продукции, выращенной на участках органического сельского хозяйства. Другими словами, доля органического сельскохозяйственного производства используется для расчета средневзвешенной выручки с учетом как традиционного, так и органического сельскохозяйственного производства и соответствующей рыночной цены.

Доходы от продажи урожая рассчитываются путем умножения средней цены урожая на общий объем производства урожая для каждой зоны в разбивке по типу культуры. Себестоимость продаж по культурам рассчитывается на основе средней цены продажи по видам культур и среднего коэффициента рентабельности для каждой из различных культур, полученных от Бюро национальной статистики РК.

Уравнение для средней себестоимости продаж по видам культур, выглядит следующим образом:

средняя себестоимость реализации по типу культуры [типы культур] = (средняя цена реализации по типу культуры [типы культур]* ТАБЛИЦА СРЕДНИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПО ТИПАМ КУЛЬТУР [типы культур] (Time))

Добавленная стоимость от производства животноводческой продукции по районам рассчитывается путем умножения поголовья скота для каждой зоны на среднюю добавленную стоимость на голову скота.

добавленная стоимость от производства животноводческой продукции по зонам[зона страны] =

общее поголовье скота по зонам [зона страны] * ТАБЛИЦА СРЕДНЕЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ НА ГОЛОВУ СКОТА (Time)

Для коэффициента рентабельности и добавленной стоимости на голову скота используются табличные функции с историческими данными. В обоих случаях предполагается, что значение является постоянным после самого позднего элемента данных (2018).

Занятость в сельском хозяйстве рассчитывается на основе общей площади пахотных земель и коэффициента занятости на гектар. Модель рассчитывает занятость на традиционных и устойчивых пахотных землях, исходя из допущения, что устойчивые пахотные земли на 10 % более трудоемки по сравнению с традиционными пахотными землями. Переменные, используемые для расчета занятости в сельском хозяйстве, представлены на рисунке 1.3

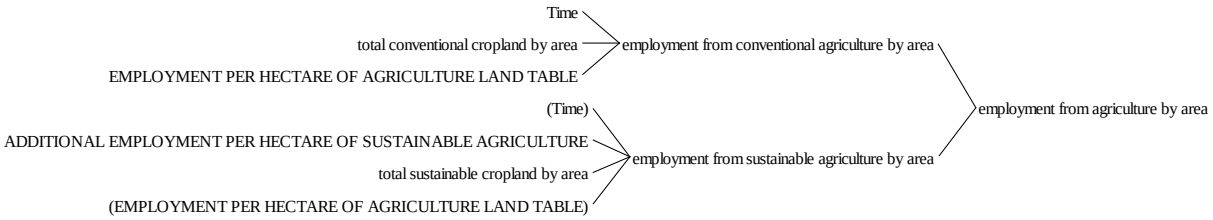


Рисунок 1.3 -Причинно-следственное дерево занятости в сельском хозяйстве по зонам

Уравнение для занятости на традиционных пахотных землях представлено ниже.

занятость в традиционном сельском хозяйстве по зонам[зона страны] =

общая площадь традиционных пахотных земель по зонам [зона страны] * ТАБЛИЦА ЗАНЯТОСТИ НА ГЕКТАР СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ (Time)

Последствия изменения климата

Среди последствий изменения климата учитывается влияние дефицита воды и потери пахотного слоя на урожайность сельскохозяйственных культур. Потеря добавленной стоимости от сельскохозяйственного производства рассчитывается путем умножения потерянной продукции растениеводства на среднюю рентабельность по культурам. Сумма упущенной добавленной стоимости от традиционных и органических производителей сельскохозяйственной продукции дает общую упущенную добавленную стоимость от растениеводства. Дерево причинно-следственных связей на рисунке 1.4 иллюстрирует переменные, используемые для расчета упущенной выгоды от традиционного сельскохозяйственного производства.

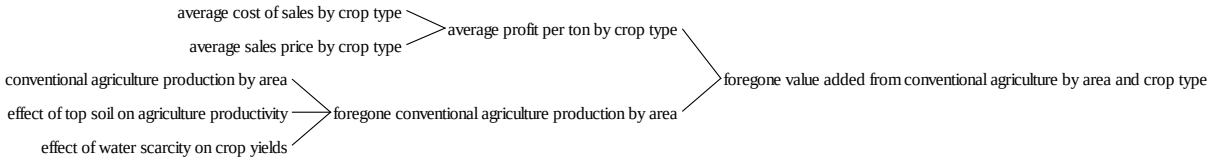


Рисунок 1.4 - Причинно-следственное дерево потерь добавленной стоимости в традиционном сельском хозяйстве в разбивке по видам культур

Упущенное сельскохозяйственное производство рассчитывается как разница между потенциальным производством (без последствий) и текущим сельскохозяйственным производством по видам сельскохозяйственных культур. Уравнение для упущенного традиционного сельскохозяйственного производства по зонам представлено ниже.

упущенное традиционное сельскохозяйственное производство по зонам[зона страны,типы культур] =
традиционное сельскохозяйственное производство по зонам[зона страны,типы культур] / (1-влияние дефицита воды на урожайность сельскохозяйственных культур[зона страны,типы культур]) / (1-влияние потери пахотного слоя на производительность сельского

хозяйства[зона страны]) - традиционное сельскохозяйственное производство по зонам[зона страны,типы культур]

Деление на "один минус влияние дефицита воды" и "один минус влияние потери пахотного слоя" дает общий потенциал сельскохозяйственного производства без влияния на производительность. Текущее сельскохозяйственное производство с учетом воздействия климата и потери пахотного слоя вычитается из общего потенциального производства для получения чистых потерь, вызванных нехваткой воды и эрозией почвы.

Последствия дефицита воды оцениваются путем сравнения чистого спроса на воду для сельскохозяйственных культур по видам культур и месяцам с месячными осадками. При расчете доли заброшенных земель по культурам проводится различие между орошаемыми и не орошаемыми землями на рисунке 1.5 показано дерево причинно-следственных связей для доли заброшенных земель по зоне страны и типу культуры.

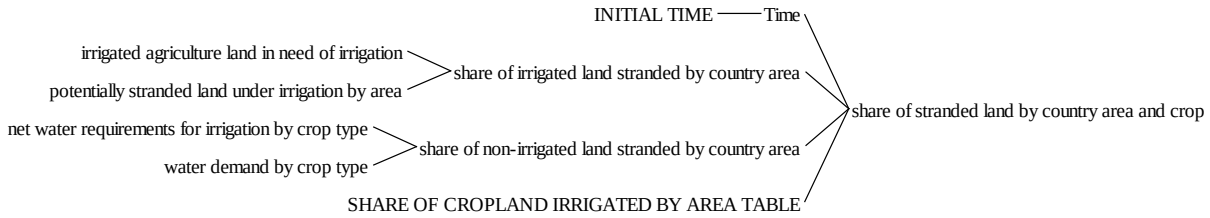


Рисунок 1.5 - Причинно-следственное дерево доли заброшенных земель по зоне страны и типу культуры

Доля заброшенных земель (показатель дефицита водных ресурсов) и эластичность (для представления устойчивости конкретных культур к дефициту воды) используются для оценки влияния нехватки водных ресурсов на производство сельскохозяйственных культур.

влияние дефицита воды на урожайность сельскохозяйственных культур [зона страны, типы культур] =

MIN (доля заброшенных земель по зоне страны и культурам [зона страны, типы культур]^ ЭЛАСТИЧНОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР К ДЕФИЦИТУ ВОДЫ ПО КУЛЬТУРАМ [типы культур], ТАБЛИЦА ПОРОГА ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ(Time))

Применяется пороговый показатель последствий дефицита воды, откалиброванный на основе информации, представленной в докладе ПРООН об уязвимости и адаптации сельскохозяйственного сектора к последствиям изменения климата (Байшоланов, 2017).

Последствия потери пахотного слоя основаны на исследованиях влияния методов обработки почвы на эрозию почвы, опубликованных Космасом и соавторами (2001). На основе этого исследования для практической оценки влияния потери пахотного слоя на урожайность сельскохозяйственных культур используется табличная функция (см. рисунок 1.6).

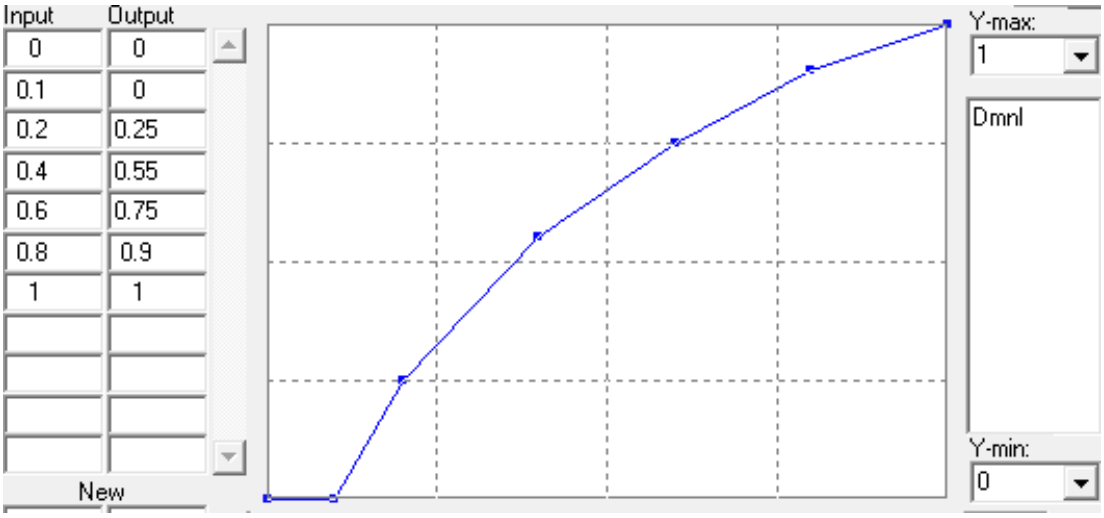


Рисунок 1.6- Табличная функция влияния потери пахотного слоя на урожайность сельскохозяйственных культур (на основе Kosmas et al., 2001)

В функции таблицы рисунка 1.6 в качестве входных данных используется индекс "относительный пахотный слой", при этом относительный пахотный слой рассчитывается путем деления текущего запаса пахотного слоя на его начальное

значение в 2000 году (т. е. для базовый год для целей индекса - 2000 год). Значения в таблице показывают, что, если значение относительного пахотного слоя - единица, то это не влияет на производительность сельского хозяйства. По мере того, как эрозия почвы приводит к уменьшению запаса пахотного слоя, относительный пахотный слой снижается до значения меньше единицы. В графических функциях, указанных в таблице, используется значение относительного пахотного слоя на любом временном этапе для оценки степени влияния на урожайность сельскохозяйственных культур. Например, если относительный пахотный слой снизится с 1 до 0,6 (снижение на 40 %), производительность земли снизится на 25 % (снижение с 1 до 0,75). Влияние пахотного слоя на плодородие земель используется в качестве множителя в уравнении урожайности по типам культур.

Влияние изменения климата на животноводство откалибровано на основе (2017) отчета ПРООН об уязвимости сельского хозяйства Казахстана к изменению климата. Согласно данному отчету, потери скота, связанные с изменением климата, калибруются с использованием поголовья животных и конкретной доли животных, потерянных из-за изменения климата. Для примера приводим уравнение смертности скота из-за изменения климата.

смертность КРС из-за изменения климата[зона страны] =
КРС по регионам[зона страны] * ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПОГОЛОВЬЕ КРС

Растениеводство

В модели KAZ LEDS растениеводство представлено на основе площади пахотных земель и продуктивности земель. Общее сельскохозяйственное производство по зонам — это сумма всех культур, произведенных в каждой

географической зоне, с учетом как традиционных, так и органических производителей.

общее сельскохозяйственное производство по зонам [зона страны] = SUM(традиционное сельскохозяйственное производство по зонам[зона страны, типы культур!]) + SUM(устойчивое сельскохозяйственное производство по зонам[зона страны, типы культур!])

Функции SUM используются для суммирования общего объема производства (в тоннах в год) по всем нижним индексам, в данном случае по различным культурам. Дерево причинно-следственных связей на Рис 1.7 иллюстрирует все переменные, используемые для расчета общего сельскохозяйственного производства по зонам.

Помимо земель и их продуктивности в модели используется доля площади собранного урожая по культурам для корректировки исторических сокращений объема производства. Эта доля остается неизменной с 2018 года.

Доля предуборочных потерь и оператор выбора политики в LEDS — это переменные политики, которые позволяют оценить последствия сокращения предуборочных потерь.

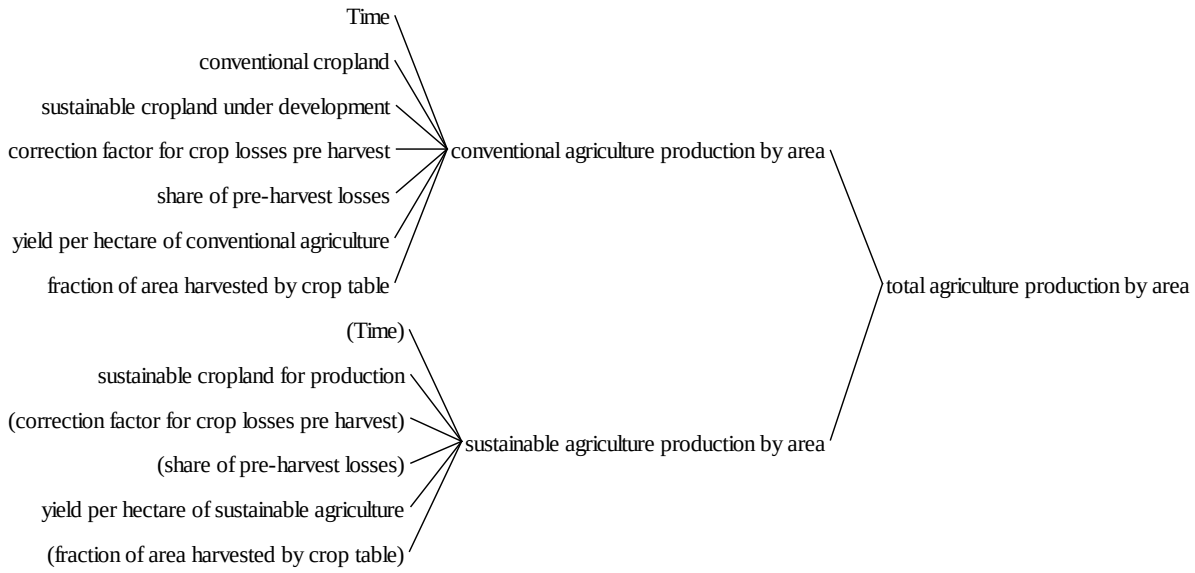


Рисунок 1.7 - Причинно-следственное дерево общего сельскохозяйственного производства по зонам

Как традиционное, так и устойчивое сельскохозяйственное производство рассчитывается путем умножения площади земли, используемой для каждого вида культур, на соответствующую урожайность с гектара. Для земель с устойчивыми или органическими методами управления модель предполагает урожайность на 20% с гектара выше на основе данных ЕЭК ООН (2019) и Бюро статистики Казахстана (2020). Для производства моделируется дополнительное уточнение для устойчивых пахотных земель. Устойчивые сельскохозяйственные угодья делятся на развиваемые устойчивые пахотные земли и производящие устойчивые пахотные земли. Ключевое допущение здесь состоит в том, что развиваемые устойчивые пахотные земли равны по продуктивности традиционным пахотным землям до того, как будет достигнут рост производительности. Согласно допущению модели, до достижения более высокой производительности устойчивыми пахотными землями проходит фиксированный срок в 2 года.

Урожайность с гектара — это функция исходной урожайности с гектара (по типу культуры), влияния общей производительности факторов и последствий эрозии почвы и дефицита воды. Ниже представлено уравнение для расчета урожайности с гектара в традиционном сельском хозяйстве.

урожайность с гектара традиционного сельского хозяйства[зона страны, типы культур] =
УРОЖАЙНОСТЬ С ГЕКТАРА [зона страны,типы культур] * совокупная производительность факторов производства в сельском хозяйстве ^ ЭЛАСТИЧНОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА К СПФ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА[зона страны,типы культур] * (1 - влияние дефицита воды на урожайность культур[зона страны,типы культур]) * влияние потери пахотного слоя на производительность сельского хозяйства[зона страны]
(СПФ – совокупная производительность факторов)

Хотя влияние совокупной производительности факторов производства со временем повышает продуктивность земель, последствия нехватки воды и эрозии почвы снижают ее. Формулировка "один минус влияние дефицита воды на урожайность культур" вводит снижение урожайности в случаях дефицита воды для орошения из-за осадков или по иным причинам. Входными данными для последствий дефицита воды служит доля заброшенных земель (см. Дерево причинно-следственных связей (рисунок 1.7), а также эластичность и пороговое значение для воздействия климата на урожайность.

влияние дефицита воды на урожайность сельскохозяйственных культур [зона страны, типы культур] = MIN (доля заброшенных земель по зоне страны и культурам [зона страны, типы культур] ^ ЭЛАСТИЧНОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР К ДЕФИЦИТУ ВОДЫ ПО КУЛЬТУРАМ [типы культур], ТАБЛИЦА ПОРОГА ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ(Time))

Функция MIN обеспечивает, чтобы указанные климатические последствия нехватки воды не превышали порогового значения воздействия климата на урожайность. Функция, используемая для определения влияния потери пахотного слоя на урожайность культур, представлена на рисунке 1.5 выше. Потери пахотного слоя в модели KAZ LEDS обусловлены относительными осадками и эластичностью потерь пахотного слоя к осадкам. Таким образом изменение пахотного слоя рассчитывается для каждой из четырех зон страны. Используемое уравнение описано ниже.

изменение пахотного слоя [зона страны] =
(Глубина пахотного слоя [зона страны]*-(влияние экстремальных осадков на пахотный слой [зона страны]*влияние ветра на пахотный слой [зона страны]))/ВРЕМЯ ЭРОЗИИ ПАХОТНОГО СЛОЯ * влияние органического сельского хозяйства на эрозию почвы [зона страны]

Животноводство

Производство животноводческой продукции в KAZ LEDS моделируется как функция от поголовья скота и последствий изменения климата. В модели эксплицитно отражены следующие запасы животных:

1) Крупный рогатый скот
2) Молочный скот
3) Овцы и козы
4) Свиньи
5) Лошади
6) Остальной домашний скот (буйволы, верблюды, мулы и ослы, домашняя птица, кролики)

Каждая категория скота, перечисленная выше, представлена как запасы, на которые влияет желаемое поголовье и последствия изменения климата. Рисунок 1.8 иллюстрирует различные запасы в модели и соответствующие драйверы.

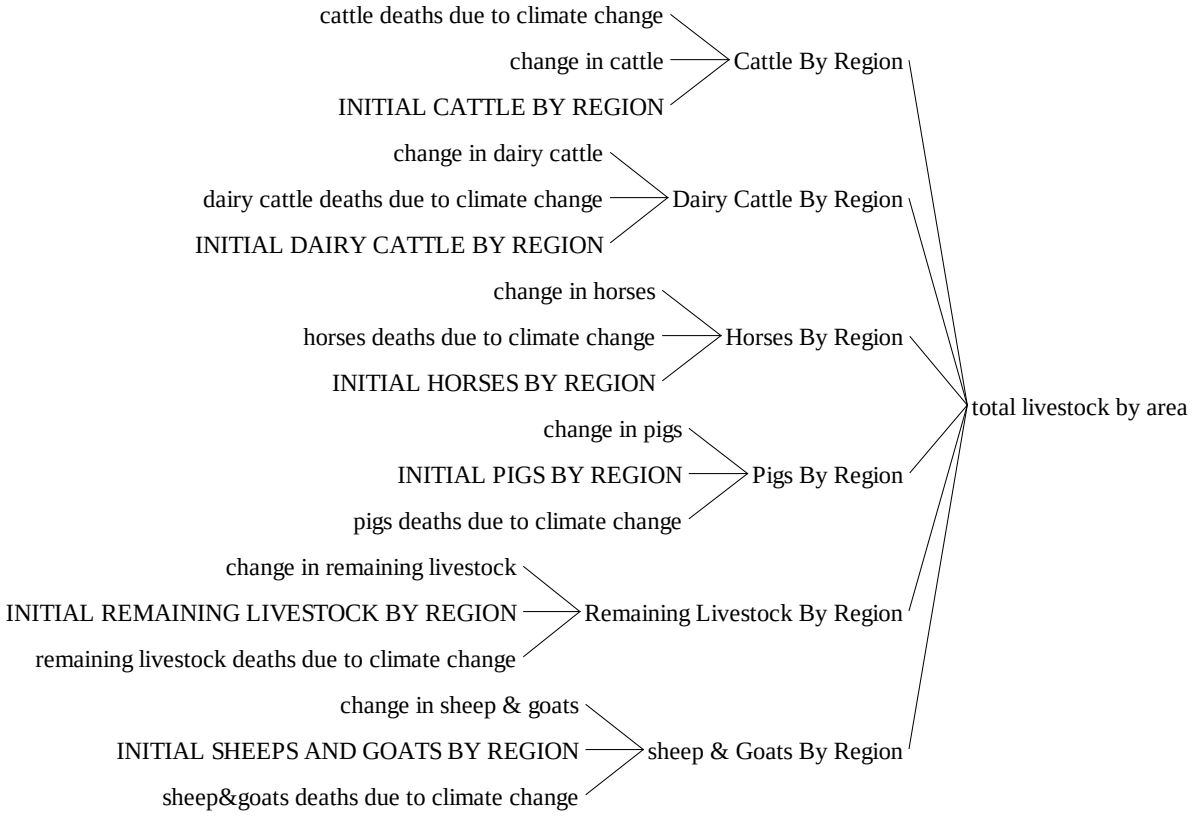


Рисунок 1.8 - Причинно-следственное дерево общего поголовья по зонам

Желаемое поголовье рассчитывается путем умножения общей численности населения на соответствующее поголовье на душу населения, откалиброванное с использованием данных от Бюро национальной статистики Казахстана(2020). В изменении поголовья сравнивается текущее поголовье скота с желаемым поголовьем для процесса корректировки запасов. Чтобы модель воспроизводила режим исторической ссылки, в изменении поголовья учитывается количество падшего скота. Ниже для примера приводится уравнение для изменения поголовья крупного рогатого скота.

изменение поголовья КРС[зона страны] =

(желаемое поголовье КРС * доля пахотных земель по регионам[зона страны] - КРС по регионам[зона страны]) / ВРЕМЯ ОБНОВЛЕНИЯ ПОГОЛОВЬЯ СКОТА + падеж КРС из-за изменения климата[зона страны]

Выбросы: сельское хозяйство

Подход к представлению выбросов в модели KAZ LEDS соответствует НДК МГЭИК Казахстана. На рисунке 1.9 показаны различные категории выбросов, рассматриваемые в модели.

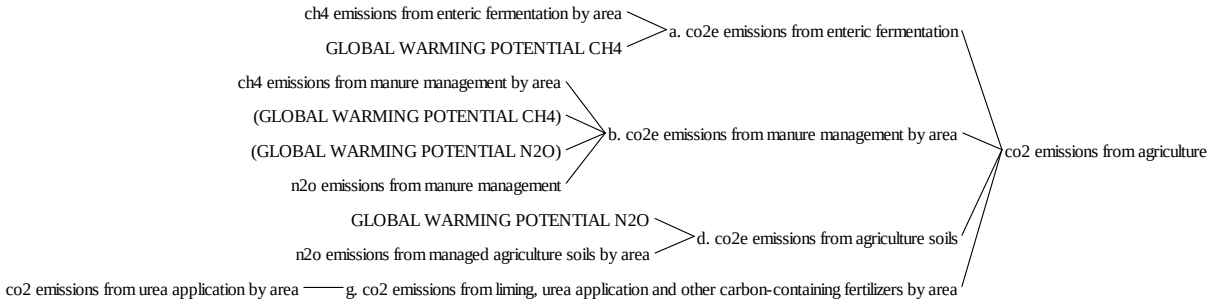


Рисунок 1.9- Причинно-следственное дерево совокупных выбросов эквивалента CO_2, сельское хозяйство

Ведущими факторами выбросов ПГ в сельском хозяйстве являются обрабатываемые почвы (использование удобрений и пожнивных остатков), животноводство (кишечная ферментация и применение навоза), орошение и внесение известняка. В выбросах эквивалента CO_2 от возделываемых почв учитываются прямые и косвенные выбросы N_2O от возделываемых почв. Прямые выбросы N_2O от возделываемых почв — это выбросы от использования удобрений (неорганических и органических), пожнивных остатков и навоза, депонируемых на пастбищах. В косвенных выбросах N_2O от возделываемых почв учитываются выбросы в результате минерализации (потери почвы) и выщелачивания азота из стоков. Переменные, используемые для расчета совокупных выбросов N_2O от возделываемых почв, представлены на рисунке 1.10.

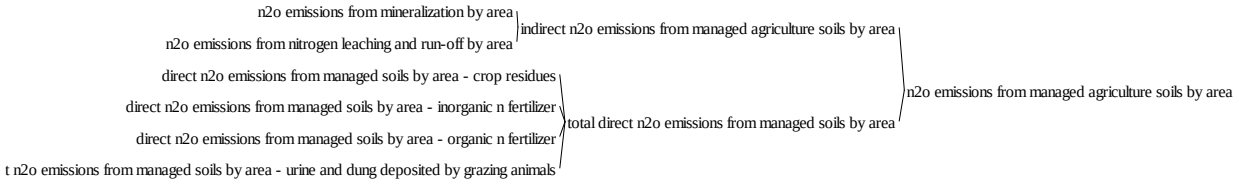


Рисунок 1.10 - Причинно-следственное дерево выбросов N_2O от возделываемых почв по зонам

Как прямые, так и косвенные выбросы от обрабатываемых сельскохозяйственных почв рассчитываются путем умножения соответствующего фактора (например, внесение удобрений, сток азота) на коэффициент выбросов. В качестве примера приведено уравнение для расчета выбросов N_2O от неорганических удобрений.

"прямые выбросы N_2O из обрабатываемых почв по зонам - неорганические азотные удобрения"[зона страны] =
норма внесения неорганических азотных удобрений по зонам[зона страны] * ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЫБРОСОВ НЕОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ(Time)

Такой же подход используется для расчета всех других показателей в категории возделываемых почв, а также выбросов в результате известкования, внесения мочевины и других углеродсодержащих удобрений, которые перечислены в качестве отдельной категории в НДК. Все коэффициенты выбросов в модели откалиброваны в соответствии с НДК за 2000–2017 гг.

В выбросах эквивалента CO_2 от животноводства учитываются выбросы в результате кишечной ферментации (CH_4) и хранения и использования навоза (CH_4 и N_2O). Выбросы CH_4 в результате кишечной ферментации и использования навоза, связанные с животноводством, рассчитываются путем умножения поголовья (для каждой категории) на коэффициент выбросов CH_4 для кишечной

ферментации и хранения и использования навоза. Как и в случае выбросов от возделываемых почв, все коэффициенты выбросов откалиброваны в соответствии с Национальными докладами о кадастрах. Сумма выбросов CH_4 в результате кишечной ферментации по видам животных дает совокупный объем выбросов CH_4 в результате переработки навоза. На рисунке 1.11 представлены переменные, используемые для расчета совокупных выбросов CH_4 от хранения и использования навоза. Тот же подход используется для расчета выбросов CH_4 в результате кишечной ферментации.

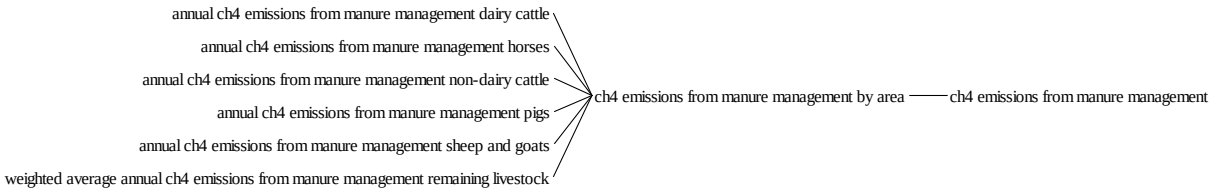


Рисунок 1.11 - Причинно-следственное дерево выбросов CH4 от хранения и использования навоза

Расчет выбросов N_2O от хранения и использования навоза основан на общем количестве азота, выделяемого животными, и коэффициенте выбросов на основе НДК. Количество выделяемого азота (N) рассчитывается путем умножения поголовья на соответствующий коэффициент - экскрецию N на голову скота. Азот, выделяемый животными, затем распределяется по твердым хранилищам, жидким хранилищам и пастбищам на основе фракций, полученных из НДК. Сумма N, хранящаяся в трех вариантах хранения навоза, дает совокупный объем N в навозе (см. рисунок 1.12).

Выбросы N_2O от хранения и использования навоза рассчитываются путем умножения количества N, хранящегося в системах хранения навоза, на выбросы N_2O на кг N в хранящемся навозе.

выбросы N_2O при хранении и использовании навоза[зона страны] = общее количество n в навозе по зонам[зона страны] * ТАБЛИЦА ВЫБРОСОВ N2O НА КГ НАВОЗА(Time)

Рисунок 1.12- Причинно-следственное дерево общего количества N в навозе

Выбросы: ЗИЗЛХ

Выбросы от землепользования, изменений в землепользовании и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ) рассчитываются на основе запасов угодий и коэффициентов выбросов из НДК. Например, выбросы от сельского хозяйства рассчитываются

путем умножения количества сельскохозяйственных угодий на коэффициент выбросов на гектар.

Выбросы с пастбищ =
общая площадь пастбищ * ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЫБРОСОВ ОТ ПАСТБИЩ(Time)

Тот же подход используется для пастбищ, земель поселений и лесных угодий. Общие выбросы эквивалента CO_2 в ЗИЗЛХ представляют собой сумму выбросов из четырех рассматриваемых категорий землепользования (см. рисунок 1.13)

При расчете выбросов с сельскохозяйственных угодий учитываются потери почвы. В результате коэффициент выбросов для сельскохозяйственных угодий рассчитывается эндогенно на основе оценки и прогноза потерь почвы, а затем калибруется в соответствии с оценкой выбросов от потери почвы в НДК. Следует отметить, что в запасах "Лесных" земель в модели KAZ LEDS учитываются как собственно леса, так и лесопокрытые площади, согласно докладу Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (UNECE, 2020).

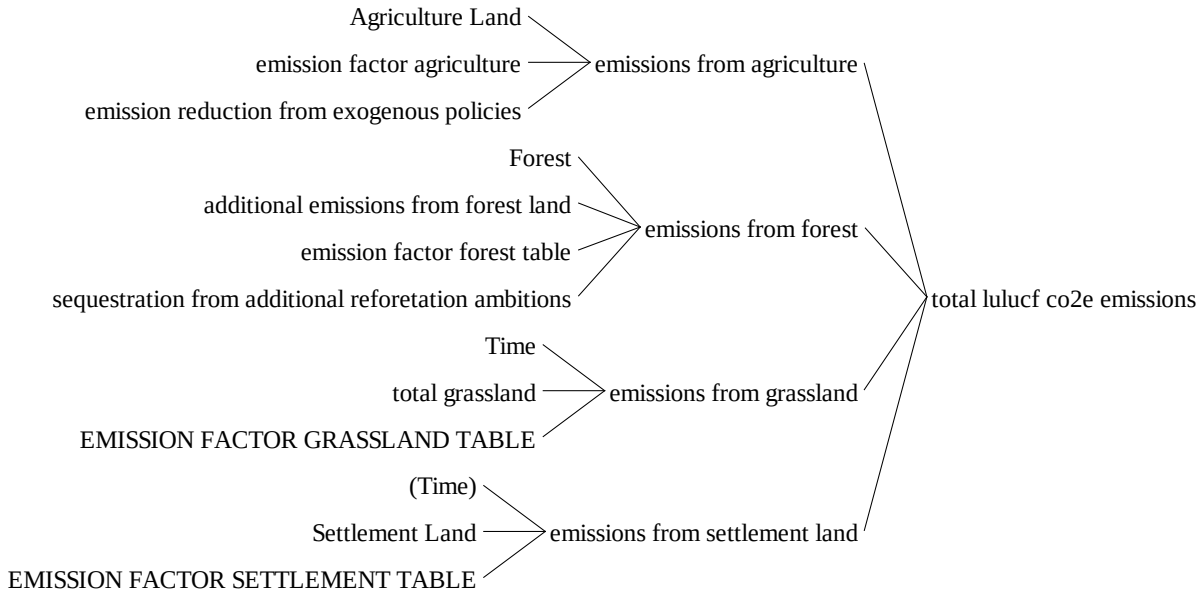


Рисунок 1.13 - Причинно-следственное дерево совокупных выбросов эквивалента CO_2, ЗИЗЛХ

Для оценки последствий лесовосстановления в дополнение к оценке выбросов, описанной выше, в модель были добавлены два дополнительных параметра: выбросы в результате восстановления саксаульных лесов и дополнительное поглощение в результате предполагаемых планов по лесовосстановлению.

Дополнительная секвестрация в результате лесовосстановления саксаульных районов моделируется с использованием функции DELAY-1 для отслеживания процесса роста деревьев. Уравнение, используемое для расчета фактического восстановления площади саксаула, представлено ниже.

период пар-лес от лесовосстановления =
DELAY1(ПЛАН ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ LTS 2 МЛРД ДЕРЕВЬЕВ (Time)*доля реализованного лесовосстановления, 4)

Отложенный поток "восстановления земель" умножается на углеродный коэффициент саксаула, чтобы получить общее количество углерода, поглощаемого деревьями. Возникающий в результате поток выбросов вносит вклад в дополнительную секвестрацию. Учитывая, что решение о восстановление саксаула принято, и оно обязательно, все три сценария включают эту политику лесовосстановления

В дополнение к восстановлению саксаульных посадок рассматриваются дополнительные планы по государственному и частному лесовосстановлению, а также устойчивому лесопользованию. Лесовосстановление в модели основано на существующих планах и предусматривает лесовосстановление и устойчивое управление в сценариях низкоуглеродного развития. Переменные,

представленные на рисунке 1.14, иллюстрируют три параметра, используемые для расчета дополнительной секвестрации.

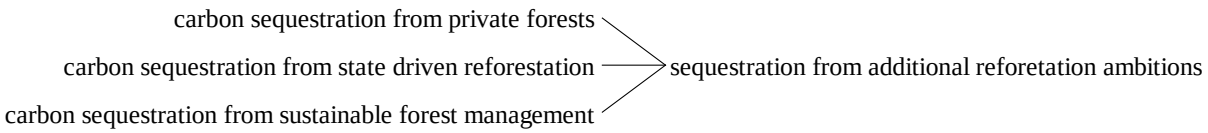


Рисунок 1.14 - Причинно-следственное дерево поглощения углерода деревьями в результате дополнительных целей в области лесовосстановления

По каждой из трех вышеупомянутых целей предполагается определенная площадь (например, дополнительные леса в результате лесовосстановления, инициируемого государством) и коэффициент поглощения углерода на гектар для расчета дополнительного поглощения. В приведенном рисунке 1.15 дереве причинно-следственных связей представлены переменные, используемые для расчета поглощения углерода, которое, как предполагается, происходит в результате инициируемого государством лесовосстановления.

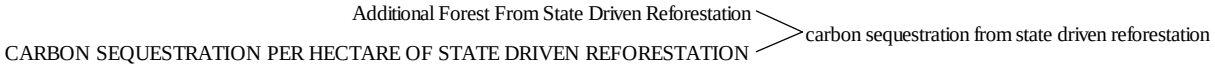


Рисунок 1.15 - Причинно-следственное дерево поглощения углерода деревьями в результате инициируемого государством лесовосстановления

При расчете выбросов от сельского хозяйства используется средневзвешенный коэффициент выбросов на гектар сельскохозяйственных угодий, в котором учитывается доля устойчивого сельского хозяйства и влияние пахотного слоя при расчетах выбросов на гектар земли. Приведенное ниже уравнение показывает, как рассчитывается коэффициент выбросов для сельского хозяйства.

коэффициент выбросов в сельском хозяйстве =

(ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЫБРОСОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ(Time)*

множитель для выравнивания выбросов в сельском хозяйстве - влияние пахотного слоя на выбросы на гектар) - среднее сокращение на гектар земли

Среднее сокращение на гектар земли от устойчивого сельского хозяйства рассчитывается путем умножения площади устойчивых пахотных земель на среднее дополнительное поглощение углерода на гектар устойчивого сельского хозяйства устойчивыми пахотными землями (в результате чего предотвращаются выбросы от устойчивого сельского хозяйства) и деления его на общую площадь сельскохозяйственных угодий. Таким образом, дополнительное поглощение углерода на гектар земли основано на обзоре USAID (2017) практики ведения сельского хозяйства с учетом климата.

среднее сокращение на гектар земли от устойчивого сельского хозяйства = предотвращенные выбросы от устойчивого сельского хозяйства / Сельскохозяйственные угодья

Влияние пахотного слоя на выбросы на гектар основано на средневзвешенной потере пахотного слоя по всем зонам страны и колоколообразной функции, что дает оценку дополнительного поглощения или потерь в слое в результате изменений пахотного слоя. Следовательно, влияние пахотного слоя — это функция от средневзвешенной потери пахотного слоя.

влияние пахотного слоя на выбросы на гектар = ТАБЛИЦА ВЛИЯНИЯ ПАХОТНОГО СЛОЯ НА ВЫБРОСЫ НА ГЕКТАР (средневзвешенная потеря пахотного слоя)

Описание результатов

В этом разделе представлен обзор результатов, полученных с помощью модели сельского хозяйства KAZ LEDS. Результаты получены из следующих сценариев: (1) сценарий без изменений (BAU), (2) сценарий зеленой экономики (GE) и (3) сценарий глубокой декарбонизации (DD). Сценарий BAU предполагает продолжение исторических тенденций и реализацию существующей политики.

Никаких дополнительных мероприятий, связанных с устойчивым развитием, не предполагается. Допущения сценариев GE и DD: внедрение органического сельского хозяйства, лесовосстановление в соответствии с текущей и планируемой политикой лесовосстановления, устойчивые корма для скота и рост орошения для растениеводства. Реализация большинства стратегий происходит линейно в период с 2020 по 2050 год. Допущения, использованные для операционализации альтернативного сценария, представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Допущения сценария LEDS для сельского хозяйства

Допущения	**Сценарий BAU**	**Сценарий GE**	**Сценарий DD**
Секвестрация углерода в поглотителях углерода (ЗИЗЛХ)			
Восстановление саксаула (1 млрд деревьев по плану), 2020–2025 гг., млн га/год	1,3	1,3	1,3
Дополнительное лесовосстановление			
Лесовосстановление по инициативе государства, 2020–2030 гг., млн га	-	0,7	0,7
Дополнительная секвестрация (по инициативе государства), т CO_2/га в год	-	11,9	11,9
Устойчивое управление деградированными лесами, 2020–2040 гг., млн га	-	1,3	1,3
Дополнительная секвестрация (по инициативе государства), т CO_2/га в год	-	6	6
Частное лесоразведение, 2020–2026 гг., млн га	-	0,05	0,05

Дополнительная секвестрация (по инициативе государства), т CO_2/га в год	-	11,9	11,9
Устойчивое сельское хозяйство			
Дополнительная секвестрация на гектар устойчивых пахотных земель, т CO_2/га в год	0,357	0,357	0,357
Сокращение выбросов от сельскохозяйственного производства			
Климатический сценарий	RCP2.6	RCP2.6	RCP2.6
Устойчивое сельское хозяйство			
Доля сельскохозяйственных земель, находящихся под устойчивым управлением	20%	30%	60%
Рост трудоемкости в устойчивом сельском хозяйстве	10%	10%	10%
Премиальная наценка в устойчивом сельском хозяйстве	40%	40%	40%
Производство животноводческой продукции (% от общего поголовья скота)			
Внедрение методов кормления скота	20%	30%	50%
Внедрение сокращения срока до убоя	20%	30%	50%
Охват орошением (% пахотных земель)			
Зона 1	3,20%	10%	15%
Зона 2	15,90%	30%	40%
Зона 3	80%	90%	100%

Зона 4	80%	90%	100%
Сокращение предуборочных потерь	-	-10%	-30%

Добавленная стоимость и занятость

Результаты по общему ВВП сельского хозяйства в сценариях BAU, GE и DD представлены на рисунке 1.16. Результаты для сценария BAU показывают, что в период с 2020 по 2050 год добавленная стоимость сельскохозяйственного сектора увеличится на 85,3 %. В 2050 году добавленная стоимость сельского хозяйства в сценарии BAU достигнет 15,9 млрд долларов США, а ВВП сельского хозяйства в сценарии GE и DD вырастет до 17,1 млрд долларов США и 19,9 млрд долларов США в сценарии GE и DD соответственно. По сравнению со сценарием BAU, ВВП сельского хозяйства в сценариях GE и DD на 7,1 % (сценарий GE) и на 24,5 % (сценарий DD) выше соответственно. В совокупности дополнительная добавленная стоимость от вмешательств в период с 2020 по 2050 год составляет 19,6 млрд долларов США в сценарии GE и 48,6 млрд долларов США в сценарии DD, что эквивалентно 652,6 млн долларов США (GE) и 1,62 млрд долларов США (DD) дополнительной добавленной стоимости в среднем в год в течение следующих 30 лет.

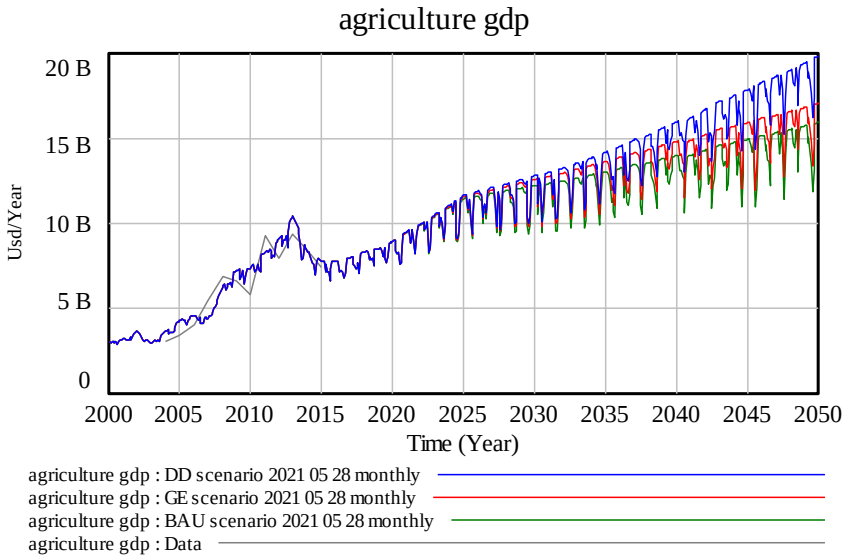


Рисунок 1.16 - ВВП сельского хозяйства

Добавленная стоимость по зонам страны представлена в Табл. Результаты по зонам страны указывают на различия в части увеличения ВВП сельского хозяйства в динамике при сравнении результатов сценариев GE и DD со сценарием BAU. Самый высокий относительный прирост по сравнению с BAU в размере 40,5 % наблюдается в зоне 4. Самый высокий абсолютный прирост, как по сравнению с 2020 годом, так и со сценарием BAU, наблюдается в Зоне 1, где прирост ВВП составил 7,12 млрд долларов США по сравнению с 2020 годом и 2,39 млн долларов США по сравнению с BAU.

Таблица 1.3 - ВВП сельского хозяйства по зонам страны

ВВП сельского хозяйства	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Зона 1								
DD	млрд долл. США	5,94	7,67	8,34	9,30	10,46	11,50	13,06
DD в сравнении с BAU	%	0,1%	2,1%	5,0%	9,1%	14,4%	19,7%	22,4%
GE	млрд долл. США	5,94	7,61	8,20	8,94	9,69	10,24	11,36
GE в сравнении с BAU	%	0,1%	1,3%	3,2%	4,9%	5,9%	6,6%	6,4%
BAU	млрд долл. США	5,93	7,51	7,95	8,52	9,15	9,61	10,67
Зона 2								
DD	млрд долл. США	1,89	2,45	2,64	3,05	3,45	4,04	4,76

DD в сравнении с BAU	%	0,1%	2,6%	6,1%	10,9%	17,7%	23,0%	24,7%
GE	млрд долл. США	1,89	2,42	2,58	2,91	3,15	3,54	4,09
GE в сравнении с BAU	%	0,1%	1,6%	3,9%	5,7%	7,5%	8,0%	7,2%
BAU	млрд долл. США	1,89	2,39	2,49	2,75	2,93	3,28	3,82
Зона 3								
DD	млрд долл. США	0,14	0,20	0,22	0,25	0,32	0,37	0,45
DD в сравнении с BAU	%	0,2%	3,7%	8,8%	15,8%	23,2%	31,4%	35,9%
GE	млрд долл. США	0,14	0,20	0,22	0,23	0,29	0,32	0,36
GE в сравнении с BAU	%	0,1%	2,2%	5,4%	7,8%	10,0%	10,9%	10,4%
BAU	млрд долл. США	0,14	0,19	0,21	0,22	0,26	0,29	0,33
Зона 4								
DD	млрд долл. США	0,65	0,85	0,91	1,04	1,14	1,38	1,60
DD в сравнении с BAU	%	0,2%	3,7%	8,3%	16,9%	27,2%	35,4%	40,5%
GE	млрд долл. США	0,65	0,84	0,89	0,96	1,00	1,14	1,27

GE в сравнении с BAU	%	0,1%	2,3%	5,2%	8,5%	10,8%	11,9%	11,6%
BAU	млрд долл. США	0,65	0,82	0,84	0,89	0,90	1,02	1,14

Результаты по занятости в сельском хозяйстве (в млн рабочих мест) за отдельные годы представлены в таблице 1.4 в разбивке по зонам страны. Во всех зонах внедрение методов органического сельского хозяйства увеличивает занятость в секторе на 4%. Наибольший абсолютный прирост прогнозируется для Зоны 1, за которой следуют Зона 2, Зона 4 и Зона 3.

Таблица 1.4 - Занятость в сельском хозяйстве по зонам

Занятость в сельском хозяйстве	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**	**2050**
Зона 1								
DD	млн чел.	1,26	1,29	1,31	1,35	1,38	1,41	1,44
DD в сравнении с BAU	%	0,0%	0,4%	1,0%	1,9%	2,9%	3,4%	3,8%
GE	млн чел.	1,26	1,29	1,31	1,33	1,36	1,38	1,40
GE в сравнении с BAU	%	0,0%	0,3%	0,7%	0,9%	1,0%	1,0%	1,0%
BAU	млн чел.	1,26	1,29	1,30	1,32	1,34	1,37	1,38
Зона 2								
DD	млн чел.	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29

DD в сравнении с BAU	%	0,0%	0,4%	1,0%	1,9%	2,9%	3,4%	3,8%
GE	млн чел.	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28
GE в сравнении с BAU	%	0,0%	0,3%	0,7%	0,9%	1,0%	1,0%	1,0%
BAU	млн чел.	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27
Зона 3								
DD	млн чел.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
DD в сравнении с BAU	%	0,0%	0,4%	1,0%	1,9%	2,9%	3,4%	3,8%
GE	млн чел.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
GE в сравнении с BAU	%	0,0%	0,3%	0,7%	0,9%	1,0%	1,0%	1,0%
BAU	млн чел.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Зона 4								
DD	млн чел.	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
DD в сравнении с BAU	%	0,0%	0,4%	1,0%	1,9%	2,9%	3,4%	3,8%
GE	млн чел.	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
GE в сравнении с BAU	%	0,0%	0,3%	0,7%	0,9%	1,0%	1,0%	1,0%
BAU	млн чел.	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06

По прогнозам, дополнительная занятость принесет 440,6 млн долларов США и 1,18 млрд долларов США дополнительного трудового дохода в период с

2020 по 2050 год в сценарии GE и DD соответственно. Это увеличение эквивалентно примерно 14,69 млн долларов США (сценарий GE) и 39,37 млн долларов США (сценарий DD) в среднем в год в течение следующих 30 лет. По сравнению с BAU, общий совокупный трудовой доход, полученный в сельскохозяйственном секторе в течение следующих 30 лет, на 0,7 % выше в сценарии GE и на 1,9 % выше в сценарии DD по сравнению со сценарием BAU.

Последствия изменения климата: сельское хозяйство

В сценарии BAU общий объем продукции, потерянной из-за изменения климата и воздействия эрозии, составляет 68,12 млрд тонн в период с 2020 по 2050 год. В сценариях GE и DD это значение снижается за счет инвестиций в методы устойчивого управления земельными ресурсами.

Прогнозируемое влияние эрозии почвы (потери пахотного слоя) на урожайность сельского хозяйства представлено на рисунке 1.17 для сценариев BAU, GE и DD соответственно. Внедрение методов органического сельского хозяйства в сценариях декарбонизации способствует снижению потерь пахотного слоя во всех областях по сравнению со сценарием BAU. В 2050 году влияние потери пахотного слоя на производительность сельского хозяйства в сценарии GE на 2,5 % (Зона 1), 1,7% (Зона 2), 3,3% (Зона 3) и 4,5% (Зона 4) ниже, чем в сценарии BAU, что указывает на более высокую производительность на гектар. Еще более значительные улучшения наблюдаются в сценарии DD, где потери пахотного слоя ниже по сравнению со сценарием BAU на 6,7 % (Зона 1), 4,4 % (Зона 2), 8,7 % (Зона 3) и 12,3 % (Зона 4).

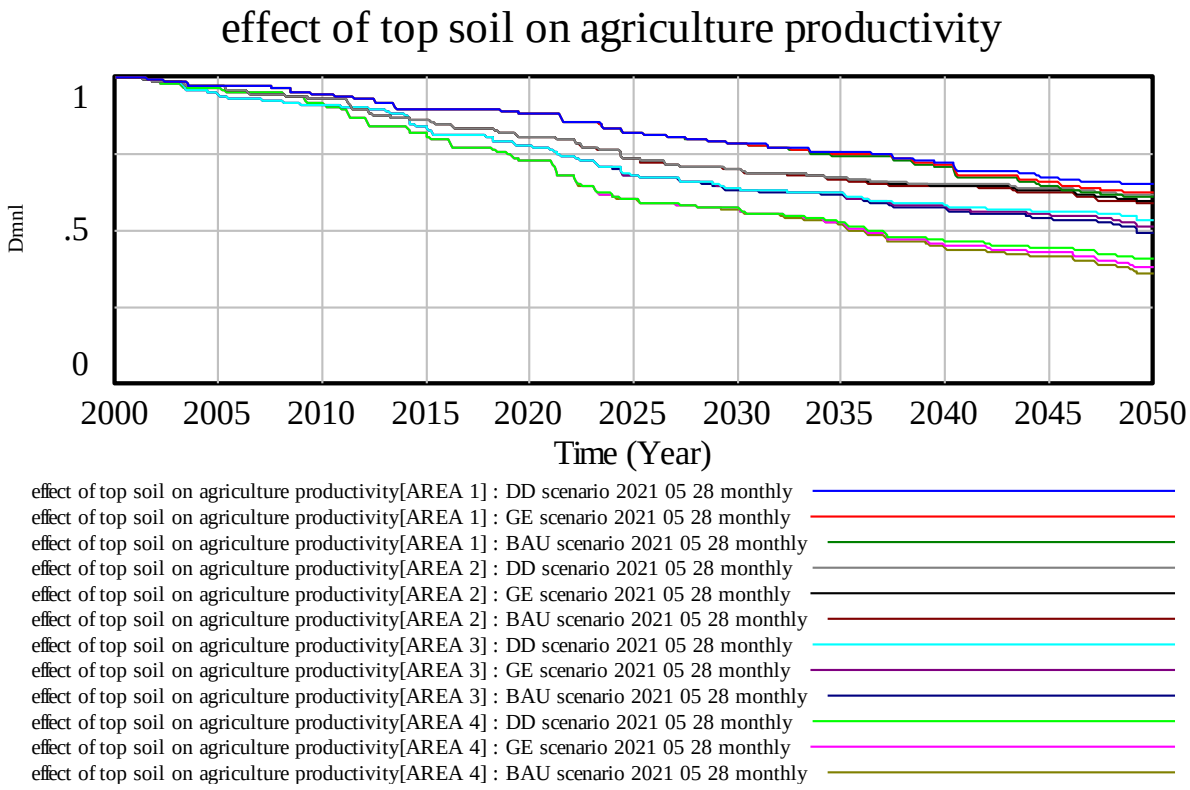


Рисунок 1.17- Влияние потери пахотного слоя на урожайность по зонам

Влияние дефицита воды для каждой из четырех зон представлено на рисунке 1.18. Всплески, наблюдаемые в Зоне 1 (вверху слева) и Зоне 2 (вверху справа), указывают на то, что последствия нехватки воды возникают только в определенные месяцы. Плато, наблюдаемые в прогнозах для Зоны 3 (внизу слева) и Зоны 4 (внизу справа), указывают, что последствия дефицита воды сохраняются в течение нескольких месяцев, то есть, сезонных осадков недостаточно для выращивания сельскохозяйственных культур. Результаты сценария GE (красная линия) и сценария DD (синяя линия) показывают, что увеличение охвата орошением уменьшит прогнозируемые последствия дефицита водных ресурсов, наблюдаемые в BAU (зеленая линия). Наиболее значительные сокращения наблюдаются в зонах 2 (вверху справа) и 4 (внизу справа).

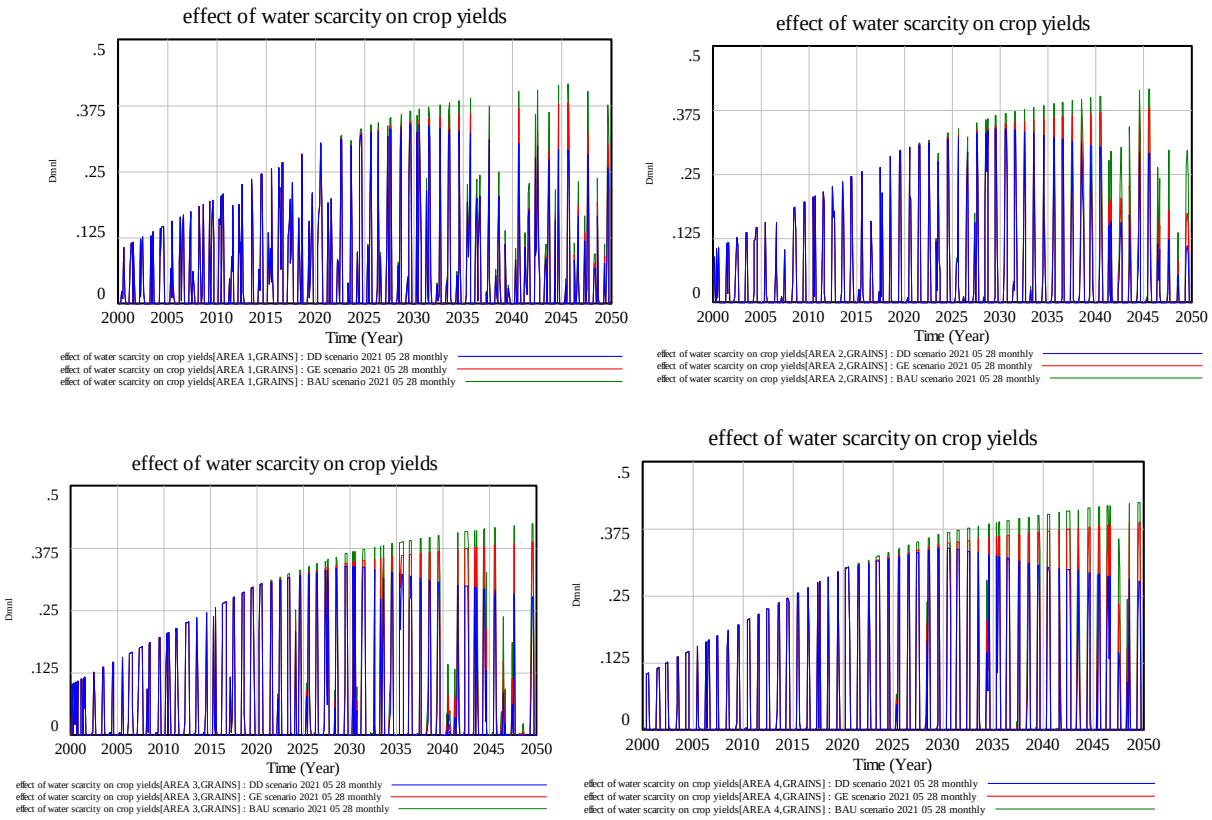


Рисунок 1.18 - Влияние дефицита воды на урожайность сельскохозяйственных культур по зонам страны

В совокупности прогнозируемые потери производства сельскохозяйственных культур из-за изменения климата в период с 2020 по 2050 год составят 470,33 млн тонн в сценарии BAU, 437,47 млн тонн в сценарии GE и 398,29 млн тонн в сценарии DD соответственно. Прогнозируемые последствия изменения климата в сценарии GE и DD ниже по сравнению с базовым уровнем благодаря устойчивым методам и расширению орошения, которые способствуют сокращению отраслевых потерь по сравнению с BAU. Упущенная выгода от сельского хозяйства в виде доли ВВП представлена в таблице 1.5 в разбивке по зонам страны за отдельные годы.

Таблица 1.5 - Упущенная выгода сельского хозяйства от растениеводства относительно ВВП

Потери производства сельскохозяйственных культур относительно ВВП	Единица измерения	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Зона 1								
DD	%/год	25,0%	20,3%	20,0%	18,6%	16,2%	16,2%	11,2%
DD в сравнении с BAU	%	-0,1%	-1,3%	-2,4%	-3,5%	-4,4%	-5,8%	-5,8%
GE	%/год	25,1%	20,9%	21,2%	20,2%	18,3%	19,7%	15,2%
GE в сравнении с BAU	%	-0,1%	-0,7%	-1,3%	-1,8%	-2,2%	-2,3%	-1,9%
BAU	%/год	25,2%	21,6%	22,5%	22,1%	20,5%	22,0%	17,1%
Зона 2								
DD	%/год	32,7%	26,5%	28,1%	24,5%	26,9%	24,4%	15,8%
DD в сравнении с BAU	%	-0,2%	-1,8%	-3,6%	-5,3%	-8,5%	-10,4%	-8,4%
GE	%/год	32,7%	27,4%	29,9%	27,1%	31,1%	30,5%	21,3%
GE в сравнении с BAU	%	-0,1%	-1,0%	-1,8%	-2,7%	-4,2%	-4,3%	-2,8%
BAU	%/год	32,9%	28,4%	31,7%	29,8%	35,3%	34,8%	24,1%
Зона 3								
DD	%/год	42,5%	30,8%	29,2%	33,0%	19,7%	22,7%	15,8%
DD в сравнении с BAU	%	-0,3%	-3,0%	-5,8%	-9,2%	-9,8%	-12,2%	-9,9%
GE	%/год	42,6%	32,2%	32,1%	38,0%	24,2%	30,0%	22,3%
GE в сравнении с BAU	%	-0,1%	-1,5%	-3,0%	-4,2%	-5,3%	-4,9%	-3,4%
BAU	%/год	42,7%	33,8%	35,0%	42,1%	29,5%	34,9%	25,7%
Зона 4								
DD	%/год	50,5%	31,9%	35,5%	32,4%	31,8%	26,7%	17,3%

DD в сравнении с BAU	%	-0,3%	-2,9%	-5,1%	-8,8%	-11,2%	-13,4%	-9,7%
GE	%/год	50,6%	33,3%	38,0%	37,1%	38,0%	34,7%	23,7%
GE в сравнении с BAU	%	-0,2%	-1,5%	-2,6%	-4,1%	-5,0%	-5,3%	-3,3%
BAU	%/год	50,8%	34,8%	40,6%	41,2%	43,0%	40,1%	27,0%

Последствия изменения климата: животноводство

На рисунке 1.19 показан общий падеж скота в связи с изменением климата для каждой из четырех зон страны. Совокупные потери из-за изменения климата составят 252,95 млн долларов США в течение следующих 30 лет, что эквивалентно упущенному ВВП от животноводства в размере примерно 8,43 млн долларов США в год.

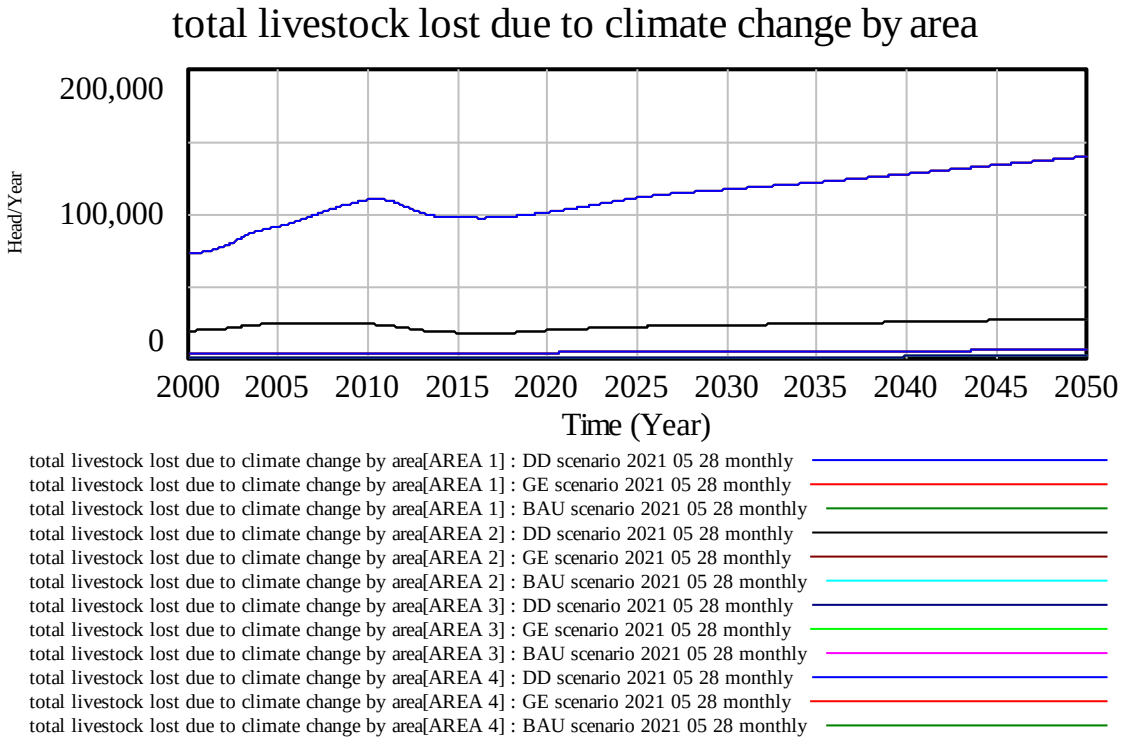


Рисунок 1.19 - Поголовье скота, потерянное из-за изменения климата, по зонам

Растениеводство

Общее производство сельскохозяйственных культур по зонам представлено в таблице 1.6 в разбивке по зонам страны за отдельные годы. Результаты показывают, что реализация мероприятий, смоделированных в сценариях GE и DD, увеличивает общее производство сельскохозяйственных культур. В 2050 году результаты GE показывают от 7,4 % (Зона 2) до 10,4 % (Зона 4) по сравнению со сценарием BAU, а в сценарии DD прогнозы указывают на увеличение производства между 24 % (Зона 2) и 33,4% (Зона 4). Самый высокий абсолютный прирост сельскохозяйственного производства в GE и DD прогнозируется для Зоны 1, с дополнительным годовым производством 2,96 млн тонн в год (GE) и 9,29 млн тонн в год (DD) соответственно в 2050 году.

Таблица 1.6 -Общее производство сельскохозяйственной продукции по зонам

Сельскохозяйственное производство	Единица измерения	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Зона 1								
DD	млн т/год	20,4	24,6	27,0	30,6	34,5	37,8	43,9
DD в сравнении с BAU	%	0,2%	3,0%	6,7%	11,5%	17,5%	24,7%	26,8%
GE	млн т/год	20,4	24,3	26,3	29,1	31,6	33,0	37,5
GE в сравнении с BAU	%	0,1%	1,8%	4,1%	6,3%	7,7%	8,8%	8,2%
BAU	млн т/год	20,3	23,8	25,3	27,4	29,4	30,3	34,6
Зона 2								
DD	млн т/год	6,1	7,3	7,9	9,3	10,6	12,5	14,8
DD в сравнении с BAU	%	0,2%	3,1%	7,0%	11,7%	18,7%	23,2%	24,0%
GE	млн т/год	6,1	7,3	7,7	8,9	9,6	11,0	12,9
GE в сравнении с BAU	%	0,1%	1,8%	4,3%	6,2%	8,3%	8,4%	7,4%

BAU	млн т/год	6,1	7,1	7,4	8,3	8,9	10,1	12,0
Зона 3								
DD	млн т/год	0,6	0,8	0,9	1,0	1,3	1,5	1,8
DD в сравнении с BAU	%	0,2%	3,7%	8,1%	14,6%	18,5%	25,7%	29,2%
GE	млн т/год	0,6	0,8	0,9	0,9	1,2	1,3	1,5
GE в сравнении с BAU	%	0,1%	2,1%	4,7%	7,0%	8,5%	9,5%	9,1%
BAU	млн т/год	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
Зона 4								
DD	млн т/год	1,8	2,2	2,3	2,5	2,6	3,1	3,5
DD в сравнении с BAU	%	0,3%	3,6%	7,6%	14,8%	23,5%	29,6%	33,4%
GE	млн т/год	1,8	2,1	2,2	2,4	2,4	2,7	2,9
GE в сравнении с BAU	%	0,1%	2,1%	4,5%	7,5%	9,8%	10,8%	10,4%
BAU	млн т/год	1,8	2,1	2,1	2,2	2,1	2,4	2,7

Животноводство

Динамика поголовья скота в сценариях BAU, GE и DD показана на рисунке 1.20 в сравнении с историческими данными. Все три сценария предполагают, что поголовье крупного рогатого скота удвоится в период с 2020 по 2025 год, что соответствует запланированному расширению производства мяса. Как следствие, при сравнении трех сценариев не наблюдается никакого воздействия на общее поголовье скота. Это связано с тем, что согласно допущениям методы органического сельского хозяйства ориентированы только на растениеводство, соответственно, объем производства в животноводстве в сценариях BAU, GE и DD одинаков. По прогнозам, общее поголовье скота увеличится примерно с 76,5 млн голов в 2020 году до 103,64 млн голов в 2050 году. Это увеличение общего поголовья примерно на 35,5 % в течение следующих 30 лет.

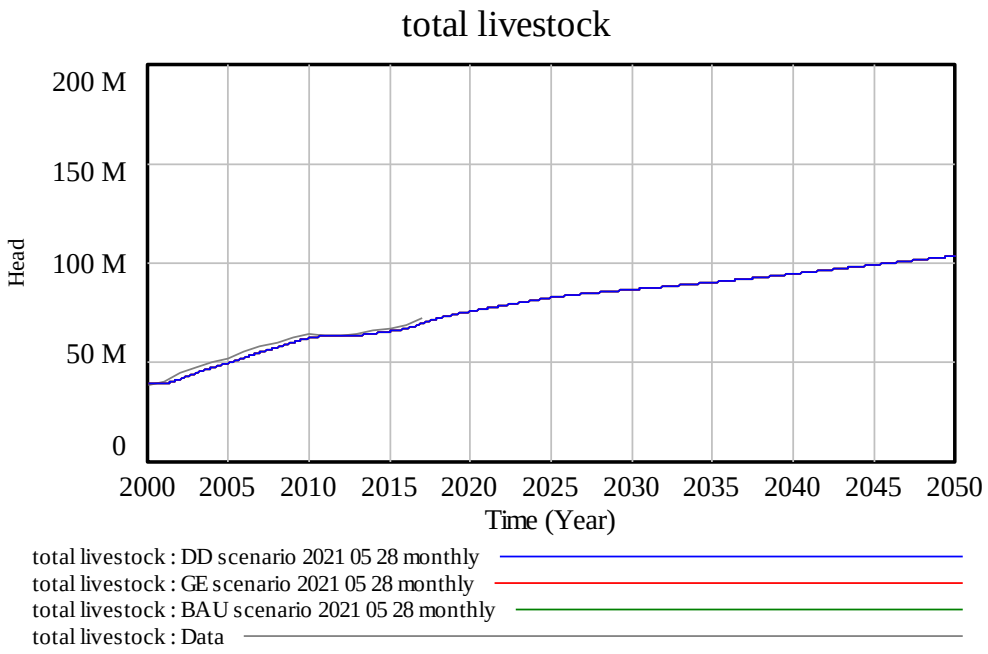


Рисунок 1.20 - Общее поголовье скота

Выбросы: сельское хозяйство

Результаты по общим выбросам эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве и выбросам с сельскохозяйственных угодий представлены на рисунке 1.21.

Прогнозируется, что совокупный объем выбросов эквивалента CO_2 в сельскохозяйственном секторе в период с 2020 по 2050 год составит 1,67 млрд тонн по сценарию BAU, 1,63 млн тонн по сценарию GE (-2 % по сравнению с BAU) и 1,58 млн тонн по сценарию DD (-5,4 % относительно BAU). Это указывает на то, что реализация мероприятий по низкоуглеродному развитию способствует предотвращению 34,02 млн тонн выбросов и 89,25 млн тонн выбросов в течение следующих 30 лет в сценарии GE и DD соответственно, или среднегодовому сокращению на 1,13 млн тонн (сценарий GE) и 2,97 млн тонн (сценарий DD).

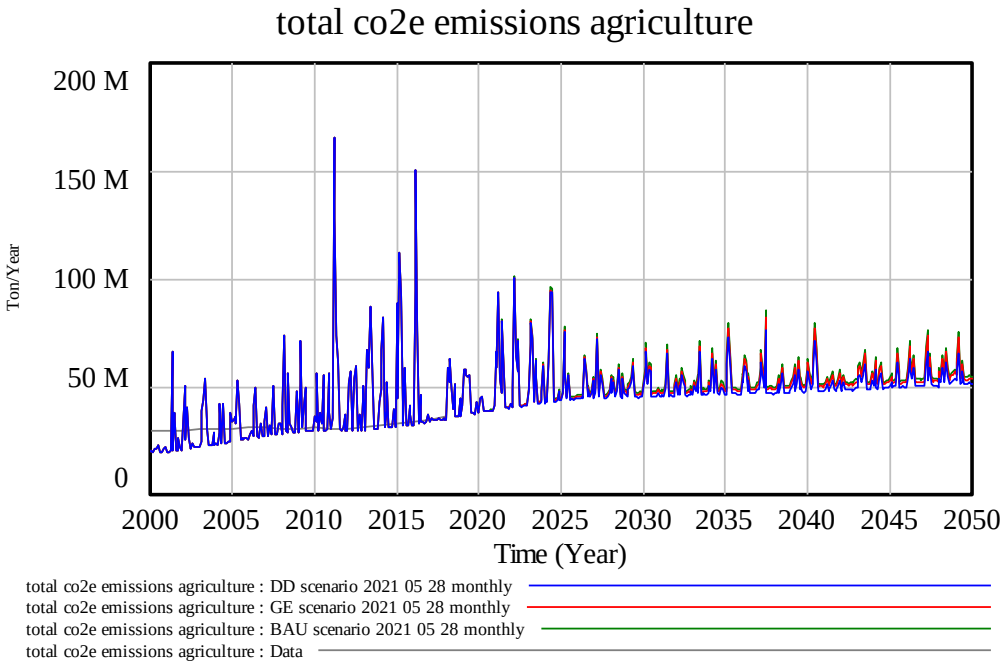


Рисунок 1.21 - Общие выбросы эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве – сценарии BAU, GE и DD

Прогноз общих выбросов эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве в разбивке по зонам страны за отдельные годы обобщены в таблице 1.7. Во всех зонах наблюдается снижение отраслевых выбросов эквивалента CO_2 в период с 2020 по 2045 год. Прогнозируемое снижение выбросов эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве составляет от 2,15 % (Зона 2) до 17,2 % (Зона 3). Как и в случае с занятостью, наибольшее абсолютное снижение в сценариях GE и DD наблюдается в Зоне 1 с прогнозируемым сокращением примерно на 980 000 тонн в год (сценарий GE) и 2,89 млн тонн эквивалента CO_2 в год (сценарий DD) к 2050 году, что эквивалентно сокращению ежегодных выбросов на 2,2 % и 6,6 % соответственно по сравнению с BAU.

Таблица 1.7 - Общие выбросы эквивалента CO2 в сельском хозяйстве по зонам страны

Выбросы эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве	Единица измерения	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Зона 1								
DD	млн т/год	30,9	36,3	37,4	37,0	41,9	40,7	40,9
DD в сравнении с BAU	%	-0,2%	-2,6%	-5,0%	-5,5%	-7,7%	-6,9%	-6,6%
GE	млн т/год	31,0	36,8	38,4	38,3	44,2	42,8	42,8
GE в сравнении с BAU	%	-0,1%	-1,4%	-2,6%	-2,2%	-2,5%	-2,2%	-2,2%
BAU	млн т/год	31,0	37,3	39,4	39,2	45,4	43,7	43,8
Зона 2								
DD	млн т/год	6,1	8,7	9,2	8,5	7,7	8,1	8,7
DD в сравнении с BAU	%	-0,2%	-2,4%	-4,7%	-6,3%	-5,8%	-5,6%	-6,8%
GE	млн т/год	6,1	8,8	9,4	8,9	8,1	8,4	9,1
GE в сравнении с BAU	%	-0,1%	-1,3%	-2,6%	-2,5%	-1,8%	-1,8%	-2,2%
BAU	млн т/год	6,1	8,9	9,7	9,1	8,2	8,5	9,3
Зона 3								
DD	млн т/год	1,6	1,1	1,1	2,6	1,8	0,8	1,5
DD в сравнении с BAU	%	-0,1%	-2,7%	-5,6%	-12,7%	-18,2%	-14,1%	-23,7%
GE	млн т/год	1,6	1,1	1,2	2,8	2,1	0,9	1,8

GE в сравнении с BAU	%	0,0%	-1,8%	-3,8%	-5,6%	-5,7%	-3,7%	-5,3%
BAU	млн т/год	1,6	1,1	1,2	3,0	2,2	0,9	1,9
Зона 4								
DD	млн т/год	1,3	2,9	3,5	3,1	1,9	1,7	2,3
DD в сравнении с BAU	%	-0,2%	-2,6%	-5,4%	-9,2%	-7,6%	-4,9%	-11,6%
GE	млн т/год	1,3	3,0	3,6	3,2	2,0	1,8	2,5
GE в сравнении с BAU	%	-0,1%	-1,6%	-3,6%	-3,8%	-2,3%	-1,6%	-2,8%
BAU	млн т/год	1,3	3,0	3,7	3,4	2,1	1,8	2,6

Выбросы: ЗИЗЛХ

Динамика общих выбросов ЗИЗЛХ представлена на рисунке 1.22. Сокращение выбросов обусловлено изменением уровня выбросов в сельском хозяйстве (за счет устойчивых методов ведения сельского хозяйства) и лесных угодьях (за счет лесовосстановления). По прогнозам, земельный сектор станет чистым поглотителем в период с 2022 по 2024 год. В период с 2020 по 2050 год совокупное чистое поглощение в секторе ЗИЗЛХ в сценарии BAU составляет 158,52 млн тонн. В сценарии GE и DD совокупное чистое поглощение в период с 2020 по 2050 год составляет 561,5 млн тонн и 579 млн тонн соответственно, что более чем вдвое превышает объем, прогнозируемый для базового сценария.

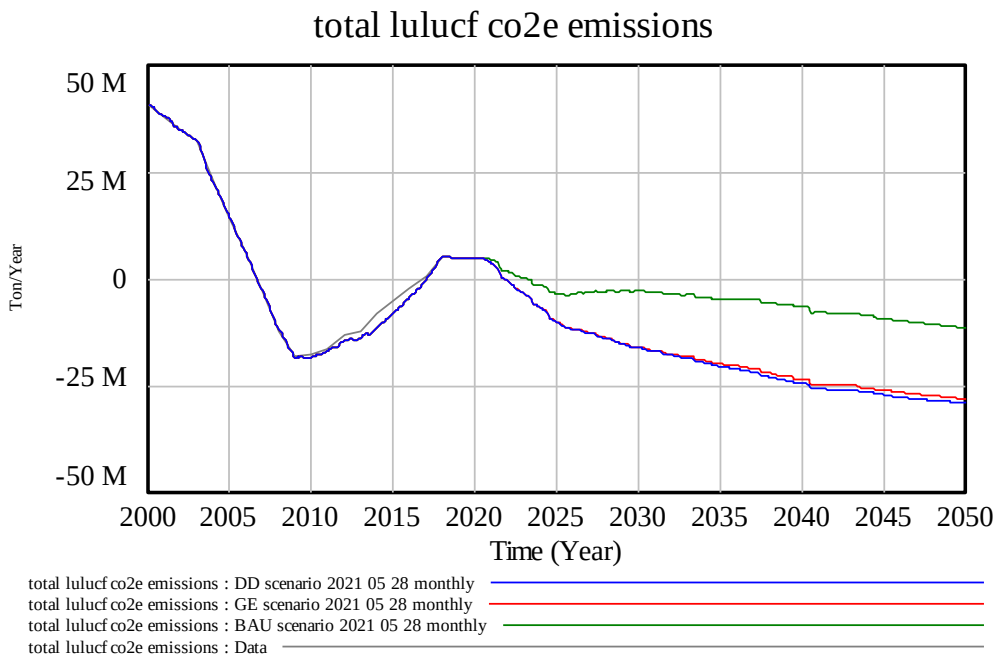


Рисунок 1.22- Общие выбросы эквивалента CO2 в ЗИЗЛХ

Совокупные выбросы эквивалента CO_2 с сельскохозяйственных угодий в период с 2020 по 2050 год составят 982,2 млн тонн (сценарий BAU), 974,9 млн тонн (сценарий GE) и 957,4 млн тонн (сценарий DD) соответственно. Сокращение выбросов с сельскохозяйственных угодий обусловлено внедрением органического сельского хозяйства, увеличением поглощения углерода на гектар и более устойчивыми подходами к животноводству, которые снижают выбросы CH_4 в результате кишечной ферментации и хранения навоза. Сокращение выбросов с лесных угодий обусловлено восстановлением 1,3 млн гектаров саксаульных лесов (все три сценария) и дополнительным лесовосстановлением (сценарии GE и DD, см. таблица 1.2).

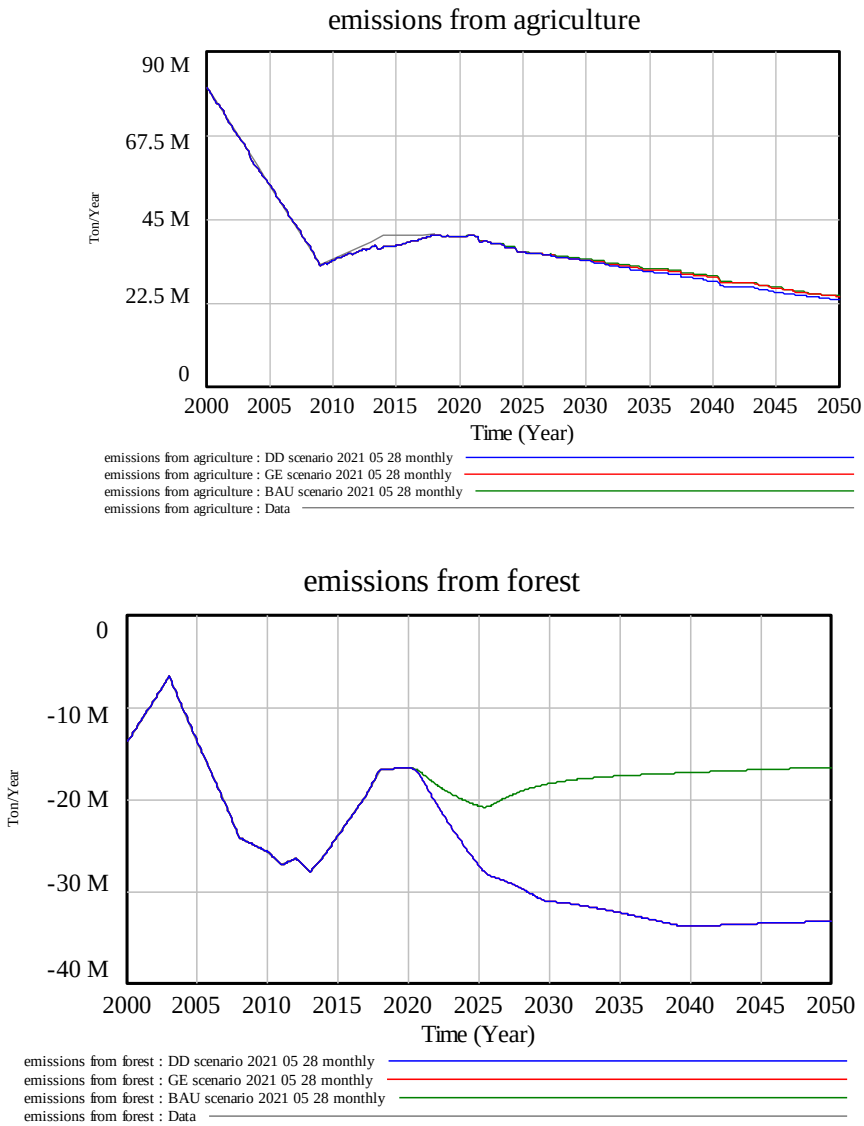
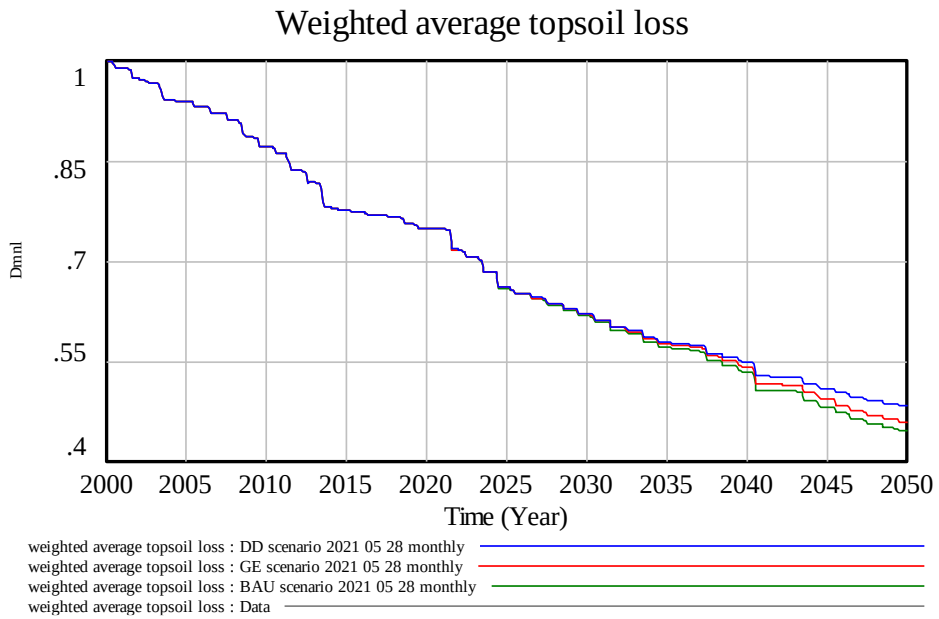


Рисунок 1.23 - Выбросы с сельскохозяйственных земель и лесных угодий

Изменение коэффициента выбросов для сельскохозяйственных угодий обусловлено потерей пахотного слоя (негативное воздействие) и органическим сельским хозяйством (положительное воздействие). Прогнозы средневзвешенных потерь пахотного слоя и среднего сокращения выбросов на гектар общей площади сельскохозяйственных угодий от органического сельского хозяйства представлены на рисунке 1.24. В сценариях GE и DD средневзвешенная потеря пахотного слоя ниже по сравнению со сценарием BAU, что приводит к снижению выбросов в результате потери почвы в обоих

сценариях по сравнению с базовым уровнем. В то же время внедрение органического сельского хозяйства увеличивает общее сокращение выбросов на гектар сельскохозяйственных угодий. Среднее сокращение на гектар земли оценивается путем деления дополнительного поглощения углерода с земель органического сельского хозяйства на общую площадь сельскохозяйственных угодий. В сценариях с низким уровнем выбросов углерода внедрение методов органического сельского хозяйства приводит к среднему сокращению выбросов с сельскохозяйственных угодий в диапазоне 0,04 (сценарий GE) и 0,08 (сценарий DD) тонн CO_2 на гектар.



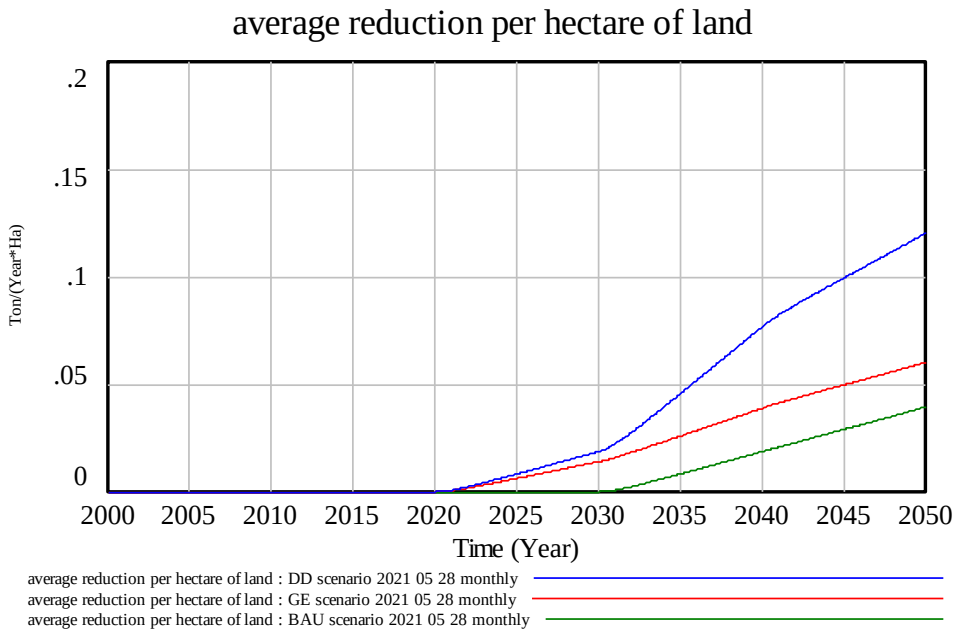


Рисунок 1.24 - Средневзвешенные потери пахотного слоя и среднее сокращение выбросов на гектар

Анализ затрат и выгод в сельском хозяйстве

Общие совокупные затраты и выгоды сценариев BAU, GE и DD на период с 2020 по 2050 год представлены в таблице 1.8. Разница в затратах, указанная в столбцах "GE в сравнении с BAU" и "DD в сравнении с BAU", представляет собой чистую разницу в затратах и выгодах между низкоуглеродными сценариями и сценарием BAU. С точки зрения общих совокупных затрат, сценарий GE требует инвестиций в размере 6,25 млрд долларов США, в основном в целях внедрения органического сельского хозяйства, орошения и усовершенствования управления животноводством. В сценарии DD для достижения выгод, описанных в этом разделе доклада, требуется в общей сложности 15,06 млрд долларов США.

Сокращение выбросов и использования удобрений, прогнозируемое в сценариях декарбонизации, способствует совокупному снижению ОСУ (общественной стоимости углерода) и затрат на химические удобрения в сценарии GE на 971 миллион долларов США и 377 миллионов долларов США

соответственно. В сценарии DD, ОСУ и затраты на удобрение в сельском хозяйстве ниже, чем в BAU, на 2,5 млрд долларов США и 489 миллионов долларов США, соответственно. В обоих сценариях устойчивое сельское хозяйство и улучшенное орошение также способствуют сокращению потерь, понесенных в результате воздействия изменения климата. В сценариях GE и DD эти мероприятия способствуют сокращению потерь растениеводства в период с 2020 по 2050 год на 3,53 млрд долларов США и 8,1 млрд долларов США соответственно.

Совокупные дополнительные выгоды от реализации мероприятий, перечисленных в таблице 1.2, достигают 18,46 млрд долларов США и 49,67 млрд долларов США в сценарии GE и DD соответственно в период с 2020 по 2050 год. В обоих случаях 18,03 млрд долларов США (сценарий GE) и 45,52 млрд долларов США (сценарий DD) получены за счет дополнительной прибыли от растениеводства, а 431 млн долларов США (сценарий GE) и 1,45 млрд долларов США - за счет дополнительных трудовых доходов. Поскольку продуктивность животноводства остается неизменной во всех сценариях, результаты для сценариев BAU, GE и DD не показывают различий.

Таблица 1.8 -Комплексный анализ затрат и выгод в сельском хозяйстве – сценарий GE в сравнении с BAU и сценарий DD в сравнении с BAU

Анализ затрат и выгод в сельском хозяйстве в 2020–2050 гг.	Единица измерения	Сценарий BAU	Сценарий GE	GE в сравнении с BAU	Сценарий DD	DD в сравнении с BAU
Инвестиции и затраты						
Органическое сельское хозяйство	млн долл. США	1 968	3 766	1 798	7 213	5 245
Инвестиции	млн долл. США	711	1 076	365	2 151	1 440
Затраты на ЭиТО	млндолл.США	1 258	2 691	1 433	5 062	3 804
Орошение	млн долл. США	1 888	3 002	1 115	3 373	1 485
Инвестиции	млн долл. США	489	884	395	1 052	563
Затраты на ЭиТО	млн долл. США	1 398	2 118	720	2 320	922
Лесовосстановление	млндолл. США	1 949	1 949	0	1 949	0
Сокращение выбросов животноводства	млн долл. США	2 728	5 829	3 101	10 824	8 096
Затраты на дополнительные цели по лесовосстановлению	млн долл. США	0	237	237	237	237
(1) Общие инвестиции и затраты	млн долл. США	8 533	14 784	6 251	23 596	15 063
Системные издержки						
Общественная стоимость углерода	млн долл. США	49 597	48 626	-971	47 075	-2 523
Неорганическое удобрение	млн долл. США	1 821	1 444	-377	1 332	-489
Упущенная продукция растениеводства с	млн долл. США	99 707	96 178	-3 528	91 977	-7 729

добавленной стоимостью						
Упущенная продукция животноводства с добавленной стоимостью	млн долл. США	252	252	0	252	0
(2) Общие системные затраты	млн долл. США	151 377	146 500	-4 877	140 635	-10 741
Дополнительные выгоды						
Производство продукции растениеводства с добавленной стоимостью	млн долл. США	253 122	271 147	18 025	298 646	45 523
Производство животноводческой продукции с добавленной стоимостью	млн долл. США	149 374	149 374	0	149 374	0
Трудовые доходы в сельском хозяйстве	млн долл. США	60 530	60 961	431	61 675	1 145
(3) Общие дополнительные выгоды	млн долл. США	463 026	481 482	18 456	509 695	46 669
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды	млн долл. США			17 082		-42 346

1.2. Описание результатов в сценарии декарбонизации в сельскохозяйственном секторе

В этом разделе представлен обзор результатов, полученных с помощью сценария Чистого нуля в модели сельского хозяйства KAZ LEDS. Результаты получены из следующих сценариев: (1) сценарий без изменений (BAU) и (2) сценарий Чистого нуля (NZE). Оба сценария моделируются с 2000 по 2060 год. Как и в случае с вышеописанными результатами, сценарий BAU предполагает продолжение исторических тенденций и реализацию существующей политики. Допущения сценария Чистого нуля — это более амбициозные цели в сравнении со сценариями GE и DD по следующим направлениям: внедрение органического сельского хозяйства, лесовосстановление в соответствии с текущей и планируемой политикой лесовосстановления, и устойчивые корма для скота. Реализация большинства стратегий происходит линейно в период с 2020 по 2060 год. Допущения, использованные для операционализации альтернативного сценария, представлены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 - Допущения сценария декарбонизации в сельском хозяйстве

Допущения	Сценарий BAU	Сценарий NZE
Секвестрация углерода в поглотителях углерода (ЗИЗЛХ)		
Восстановление саксаула (1 млрд деревьев по плану), 2020–2025 гг., млн га/год	1,3	1,3
Дополнительное лесовосстановление		
Лесовосстановление по инициативе государства, 2020–2060 гг., млн га	-	1,4
Дополнительная секвестрация (по инициативе государства), т CO_2/га в год	-	11,9
Устойчивое управление деградированными лесами, 2020–2060 гг., млн га	-	1,92

Дополнительная секвестрация (по инициативе государства), т CO_2/га в год	-	6
Частное лесоразведение, 2020–2060 гг., млн га	-	0,15
Дополнительная секвестрация (по инициативе государства), т CO_2/га в год	-	11,9
Устойчивое сельское хозяйство		
Дополнительная секвестрация на гектар устойчивых пахотных земель, т CO_2/га в год	0,357	0,357

Сокращение выбросов от сельскохозяйственного производства

Климатический сценарий	RCP4.5	RCP4.5
Устойчивое сельское хозяйство		
Доля сельскохозяйственных земель, находящихся под устойчивым управлением	28%	100%
Рост трудоемкости в устойчивом сельском хозяйстве	10%	10%
Премиальная наценка в устойчивом сельском хозяйстве	40%	40%
Производство животноводческой продукции (% от общего поголовья скота)		
Внедрение методов кормления скота	30%	60%
Внедрение сокращения срока до убоя	30%	60%
Охват орошением (% пахотных земель)		
Зона 1	3,20%	15%
Зона 2	15,90%	40%
Зона 3	80%	100%
Зона 4	80%	100%
Сокращение предуборочных потерь	-	-30%

Добавленная стоимость и занятость

На рисунке 1.25 представлено развитие реального ВВП сельского хозяйства в сценариях BAU и NZE. Результаты для сценария BAU показывают,

что в период с 2020 по 2050 год добавленная стоимость сельскохозяйственного сектора увеличится на 85,3 %. В 2050 году добавленная стоимость сельского хозяйства в сценарии BAU достигнет 15,57 млрд долларов США, в то время как ВВП сельского хозяйства в сценарии NZE вырастет до 17,43 млрд долларов США к 2060 году, что на 72,2 % выше по сравнению со сценарием BAU. В совокупности дополнительная добавленная стоимость, полученная в результате мероприятий, осуществленных в сценарии NZE в период с 2020 по 2060 год, составляет 176,93 млрд долларов США в сценарии NZE, что эквивалентно 4,42 млрд. долларов США дополнительной добавленной стоимости в секторе в среднем в год в течение следующих 40 лет.

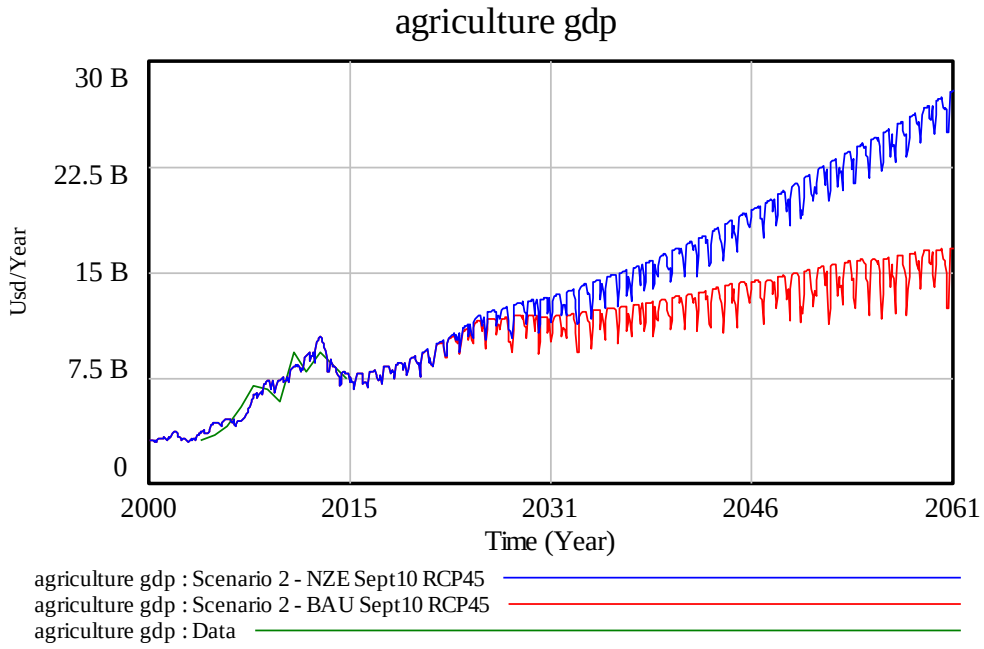


Рисунок 1.25 -ВВП сельского хозяйства - сценарии BAU и NZE

Добавленная стоимость по зонам страны представлена в таблице 1.10. Результаты по зонам страны указывают на различия в части увеличения ВВП сельского хозяйства в динамике при сравнении результатов сценария TZE со сценарием BAU. Самый высокий относительный прирост по сравнению с BAU в размере 181,7% наблюдается в Зоне 4. Самый высокий абсолютный прирост, как

по сравнению с 2020 годом, так и со сценарием BAU, наблюдается в Зоне 1, где прирост ВВП составил 11,31 млрд долларов США по сравнению с 2020 годом и 6,52 млрд долларов США по сравнению с BAU.

Таблица 1.10- ВВП сельского хозяйства по зонам страны

ВВП сельского хозяйства	Единица измерения	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Зона 1							
NZE	млрд долл. США	6,12	7,90	8,71	11,00	14,05	17,43
NZE в сравнении с BAU	%	0,1%	3,7%	10,9%	24,1%	41,8%	59,8%
BAU	млрд долл. США	6,12	7,62	7,85	8,87	9,90	10,91
Зона 2							
NZE	млрд долл. США	1,84	2,57	2,83	3,76	5,07	6,38
NZE в сравнении с BAU	%	0,2%	4,6%	12,9%	28,5%	52,2%	79,6%
BAU	млрд долл. США	1,83	2,46	2,51	2,92	3,33	3,55
Зона 3							
NZE	млрд долл. США	0,15	0,21	0,25	0,36	0,52	0,70
NZE в сравнении с BAU	%	0,2%	6,9%	18,8%	40,9%	80,7%	142,1%

BAU	млрд долл. США	0,15	0,19	0,21	0,25	0,29	0,29
Зона 4							
NZE	млрд долл. США	0,67	0,88	1,02	1,25	1,75	2,30
NZE в сравнении с BAU	%	0,3%	7,5%	21,7%	58,5%	103,9%	181,7%
BAU	млрд долл. США	0,67	0,82	0,84	0,79	0,86	0,82

Результаты по занятости в сельском хозяйстве (в млн рабочих мест) за отдельные годы представлены в таблице 1.11 в разбивке по зонам страны. Во всех зонах внедрение методов органического сельского хозяйства увеличивает занятость в секторе по сравнению со сценарием BAU. Наибольший абсолютный прирост прогнозируется для Зоны 1, за которой следуют Зона 2, Зона 4 и Зона 3.

Таблица 1.11 -Занятость в сельском хозяйстве по зонам

Занятость в сельском хозяйстве	Единица измерения	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Зона 1							
NZE	млн чел.	1,26	1,30	1,34	1,41	1,48	1,50
NZE в сравнении с BAU	%	0,0%	1,3%	2,8%	4,9%	6,7%	6,8%
BAU	млн чел.	1,26	1,29	1,30	1,34	1,38	1,40
Зона 2							
NZE	млн чел.	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
NZE в сравнении с BAU	%	0,0%	1,3%	2,8%	4,9%	6,8%	7,8%
BAU	млн чел.	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28

Зона 3							
NZE	млн чел.	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
NZE в сравнении с BAU	%	0,0%	1,3%	2,8%	4,9%	6,8%	7,8%
BAU	млн чел.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Зона 4							
NZE	млн чел.	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
NZE в сравнении с BAU	%	0,0%	1,3%	2,8%	4,9%	6,8%	7,8%
BAU	млн чел.	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06

Дополнительная занятость, прогнозируемая для сценария NZE, принесет 3,68 млрд долларов США дополнительного трудового дохода в период с 2020 по 2060 год, что эквивалентно примерно 92,11 млн долларов США в год в среднем в течение следующих 40 лет. По сравнению с BAU, общий совокупный трудовой доход, полученный в сценарии NZE в течение следующих 40 лет, выше на 4,5 %, или 81,19 млрд долларов США в сценарии BAU по сравнению с 84,88 млрд долларов США в сценарии NZE.

1.2.1. Последствия изменения климата: сельское хозяйство

В сценарии BAU общий объем продукции, потерянной из-за изменения климата и воздействия эрозии, составляет 614,2 млн тонн в период с 2020 по 2060 год. В сценарии NZE это значение снижается за счет инвестиций в устойчивые методы управления земельными ресурсами, сокращения предуборочных потерь и увеличения ирригационных мощностей.

Прогнозируемое влияние эрозии почвы (потери пахотного слоя) на урожайность сельского хозяйства представлено на рисунке 1.26 для сценариев BAU и NZE соответственно. Внедрение методов органического сельского

хозяйства в сценарии NZE способствует снижению потерь пахотного слоя во всех областях по сравнению со сценарием BAU. В 2060 году влияние потери пахотного слоя на производительность сельского хозяйства в сценарии NZE на 18 % (Зона 1), 14,9% (Зона 2), 21 % (Зона 3) и 18,9 % (Зона 4) ниже, чем в сценарии BAU, что указывает на более высокую производительность на гектар. Предполагается, что устойчивые методы ведения сельского хозяйства способствуют поддержанию качества пахотного слоя и, следовательно, уменьшают потери пахотного слоя по сравнению с традиционными методами ведения сельского хозяйства.

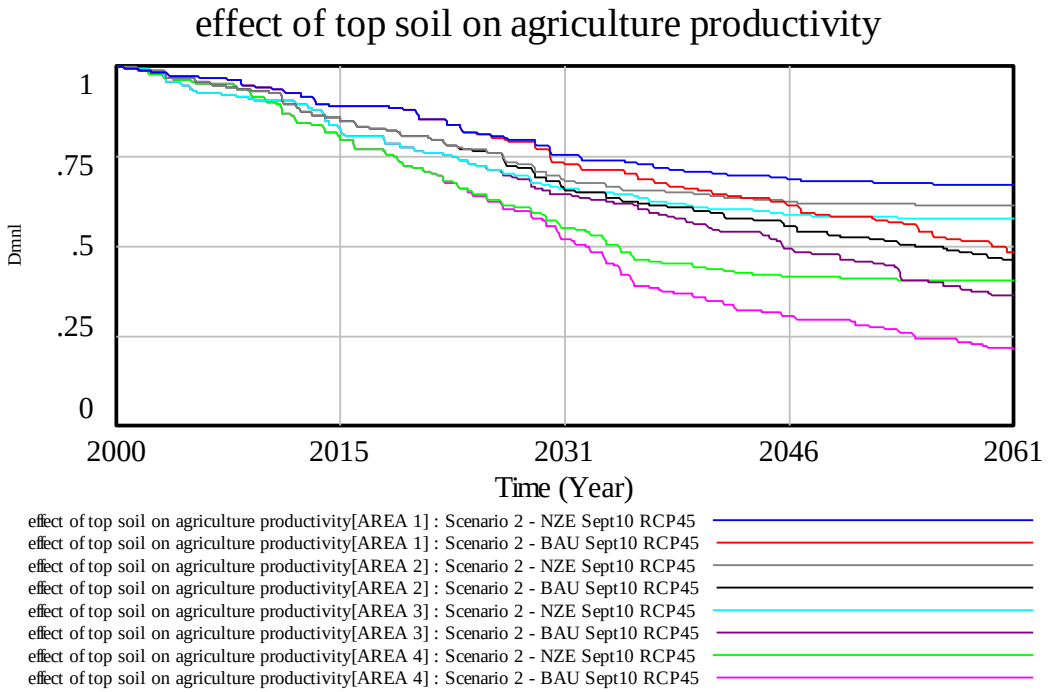


Рисунок 1.26 - Влияние потери пахотного слоя на урожайность по зонам

Влияние дефицита воды для каждой из четырех зон представлено на Рис. Всплески, наблюдаемые в Зоне 1 (вверху слева) и Зоне 2 (вверху справа), указывают на то, что последствия нехватки воды возникают только в определенные месяцы. Плато, наблюдаемые в прогнозах для Зоны 3 (внизу слева) и особенно Зоны 4 (внизу справа), указывают, что последствия дефицита воды

сохраняются в течение нескольких месяцев, то есть, сезонных осадков недостаточно для выращивания сельскохозяйственных культур. Результаты сценария NZE (синяя линия) показывают, что увеличение охвата орошением уменьшит прогнозируемые последствия дефицита водных ресурсов, наблюдаемые в BAU (красная линия).

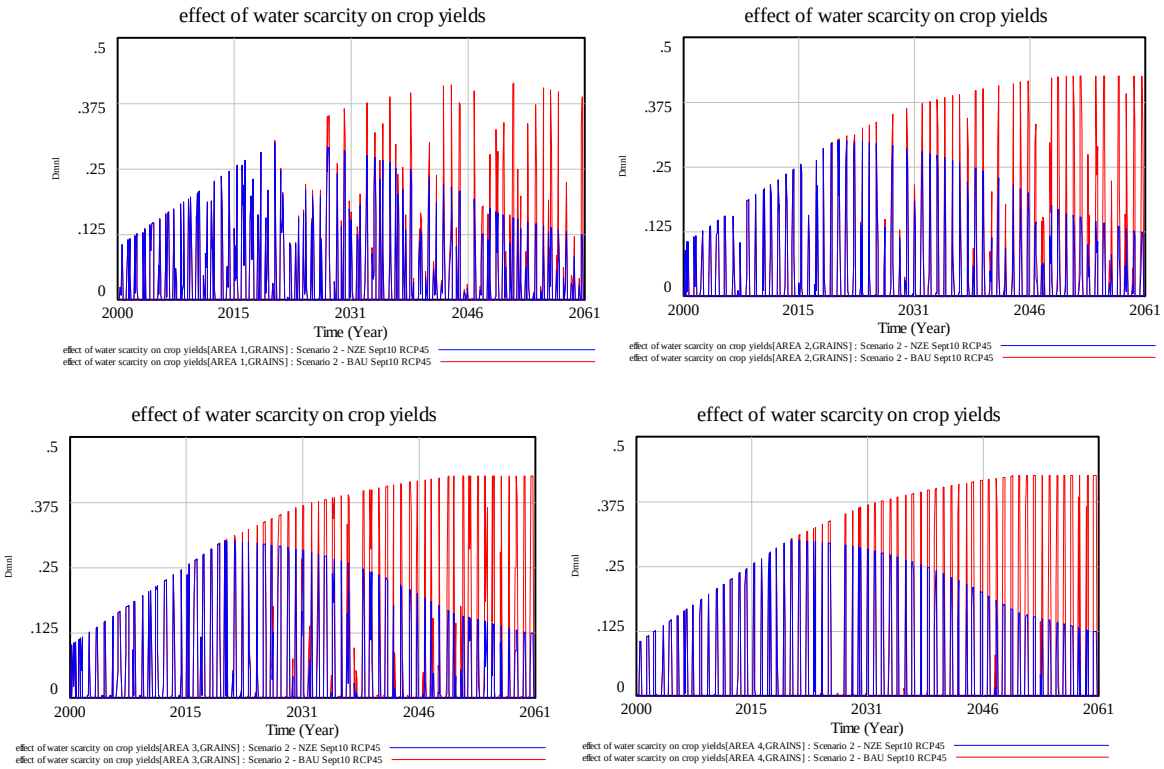


Рисунок 1.27 - Влияние дефицита воды на урожайность сельскохозяйственных культур по зонам страны - сценарии BAU и NZE

В совокупности прогнозируемые потери производства сельскохозяйственных культур из-за изменения климата в период с 2020 по 2050 год составят 614,2 млн тонн в сценарии BAU и 543,2 млн тонн в сценарии NZE соответственно. Хотя абсолютные потери в сценарии NZE выше по сравнению с потерями в сценарии BAU, эти потери следует рассматривать относительно общего объема сельскохозяйственного производства. По сравнению с ВВП сельского хозяйства прогнозируемые последствия изменения климата в сценарии

NZE ниже по сравнению с базовым уровнем благодаря устойчивым методам, сокращению предуборочных потерь и расширению орошения, которые способствуют сокращению отраслевых потерь по сравнению с базовым уровнем. Упущенная выгода от сельского хозяйства в виде доли ВВП представлена в таблице 1.12 в разбивке по зонам страны за отдельные годы.

Таблица 1.12 -Упущенная прибыль сельского хозяйства от растениеводства относительно ВВП

Потери производства сельскохозяйственных культур относительно ВВП	Единица измерения	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Зона 1							
NZE	%/год	20,1%	18,4%	17,9%	16,9%	16,8%	15,8%
NZE в сравнении с BAU	%	-0,1%	-0,9%	-1,1%	-3,2%	-7,0%	-7,0%
BAU	%/год	20,3%	19,3%	19,1%	20,0%	23,8%	22,8%
Зона 2							
NZE	%/год	36,3%	26,9%	24,8%	22,4%	20,1%	23,0%
NZE в сравнении с BAU	%	-0,3%	-1,8%	-2 1%	-5,5%	-11,1%	-15,6%
BAU	%/год	36,6%	28,7%	26,9%	27,9%	31,2%	38,6%
Зона 3							
NZE	%/год	37,1%	35,3%	30,9%	22,8%	20,5%	22,8%
NZE в сравнении с BAU	%	-0,3%	-3,7%	-6,5%	-9,4%	-15,8%	-23,1%
BAU	%/год	37,4%	39,1%	37,4%	32,2%	36,2%	45,9%
Зона 4							
NZE	%/год	44,1%	37,9%	29,0%	24,9%	22,5%	24,5%
NZE в сравнении с BAU	%	-0,4%	-3,8%	-4,7%	-8,8%	-15,9%	-22,3%

BAU	%/год	44,5%	41,7%	33,7%	33,7%	38,4%	46,8%

1.2.2. Последствия изменения климата: животноводство

Рисунок 1.28 показывает общий падеж скота в связи с изменением климата для каждой из четырех зон страны. Совокупные потери из-за изменения климата составят 350,1 млн долларов США в течение следующих 40 лет, что эквивалентно упущенному ВВП от животноводства в размере примерно 8,75 млн долларов США в год.

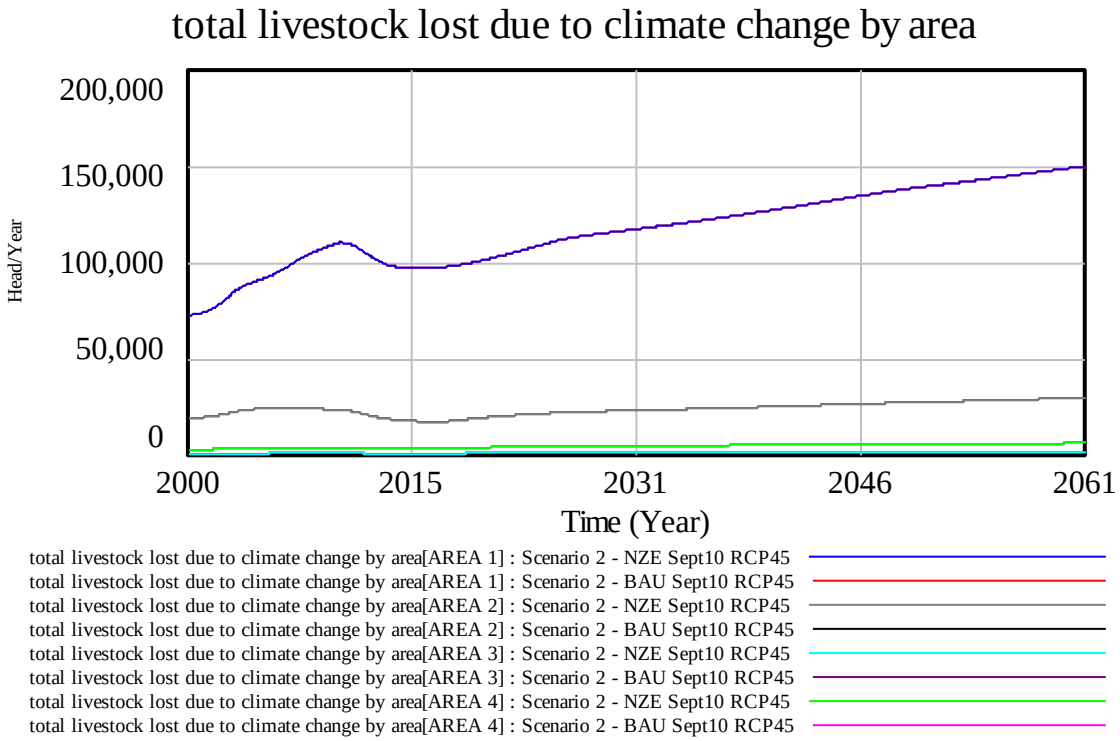


Рисунок 1.28 - Поголовье скота, потерянное из-за изменения климата, по зонам

1.2.3. Растениеводство

Общее производство сельскохозяйственных культур по зонам представлено в таблице 1.13 в разбивке по зонам страны за отдельные годы. Результаты показывают, что реализация мероприятий, смоделированных в сценарии NZE, увеличит общее производство сельскохозяйственных культур по сравнению с базовым уровнем. Результаты показывают увеличение общего объема сельскохозяйственного производства к 2060 году на 177,7 % (Зона 4) и 79,5 % (Зона 1) по сравнению со сценарием BAU. Самый высокий абсолютный прирост сельскохозяйственного производства прогнозируется для Зоны 1, с дополнительным годовым производством в 26,3 млн тонн в год в 2060 году.

Таблица 1.13 - Общее производство сельскохозяйственной продукции по зонам

Сельскохозяйственное производство	Единица измерения	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Зона 1							
NZE	млн т/год	21,7	25,6	27,9	35,7	46,3	59,5
NZE в сравнении с BAU	%	0,2%	4,2%	12,4%	28,4%	51,8%	79,5%
BAU	млн т/год	21,6	24,5	24,8	27,8	30,5	33,1
Зона 2							
NZE	млн т/год	5,9	7,8	8,5	11,4	15,4	19,8
NZE в сравнении с BAU	%	0,3%	4,6%	12,8%	28,3%	53,9%	84,5%
BAU	млн т/год	5,9	7,4	7,5	8,9	10,0	10,7
Зона 3							
NZE	млн т/год	0,7	0,8	1,0	1,4	2,0	2,6
NZE в сравнении с BAU	%	0,3%	6,1%	15,3%	32,5%	68,1%	127,9%
BAU	млн т/год	0,7	0,8	0,8	1,0	1,2	1,2
Зона 4							
NZE	млн т/год	1,9	2,2	2,5	2,8	3,7	4,6
NZE в сравнении с BAU	%	0,3%	6,4%	17,8%	52,8%	95,5%	177,7%
BAU	млн т/год	1,9	2,1	2,1	1,8	1,9	1,7

1.2.4. Животноводство

Динамика поголовья скота в сценариях BAU и NZE показана на рисунке 1.29 в сравнении с историческими данными. В сценариях BAU и NZE предполагается, что поголовье крупного рогатого скота удвоится в период с 2020 по 2025 год, что соответствует запланированному расширению производства мяса. Помимо крупного рогатого скота, предполагается, что поголовье скота будет увеличиваться историческими темпами, и для прогнозирования поголовья используется самый поздний элемент данных, исходя из общей численности. Учитывая, что в сценарии NZE не предполагается никакой конкретной политики, направленной на поголовье скота, при сравнении сценария NZE с BAU не наблюдается никакого влияния на общее поголовье скота. По прогнозам, общее поголовье скота увеличится примерно с 76,5 млн голов в 2020 году до 110,83 млн голов в 2050 году. Это составляет увеличение общего поголовья примерно на 45 % в течение следующих 40 лет.

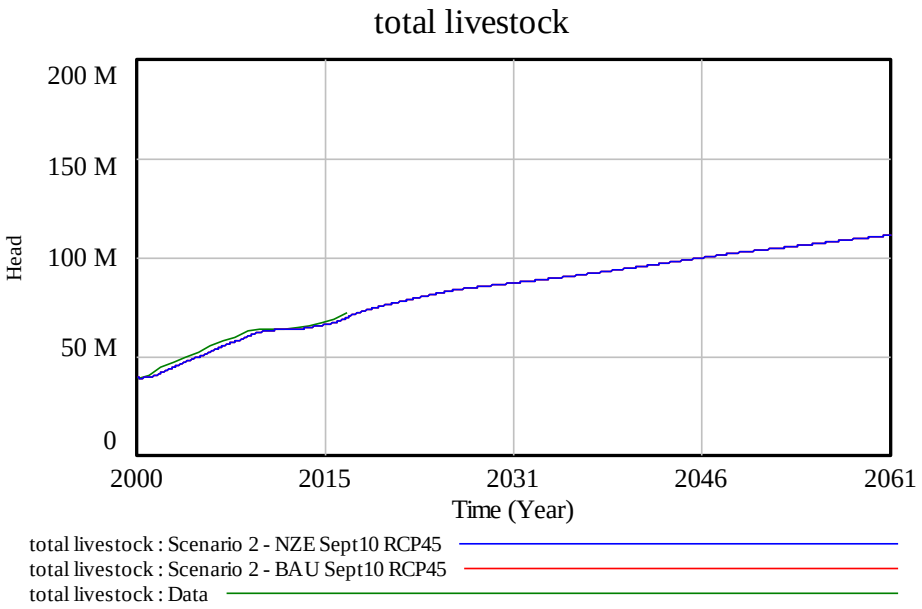


Рисунок 1.29 - Общее поголовье скота - сценарии BAU и NZE

Результаты по общим выбросам эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве и выбросам с сельскохозяйственных угодий представлены на Рис 1.30.

Прогнозируется, что совокупные выбросы эквивалента CO_2 в сельскохозяйственном секторе в период с 2020 по 2060 год составят 1,93 млрд тонн в сценарии BAU и 1,7 млрд тонн в сценарии NZE, соответственно, совокупные выбросы в сценарии NZE на 11,6 % ниже по сравнению с BAU. Это указывает на то, что реализация мероприятий по низкоуглеродному развитию способствует предотвращению 223,6 млн тонн выбросов по сравнению с базовым уровнем или среднегодовому сокращению на 5,59 млн тонн.

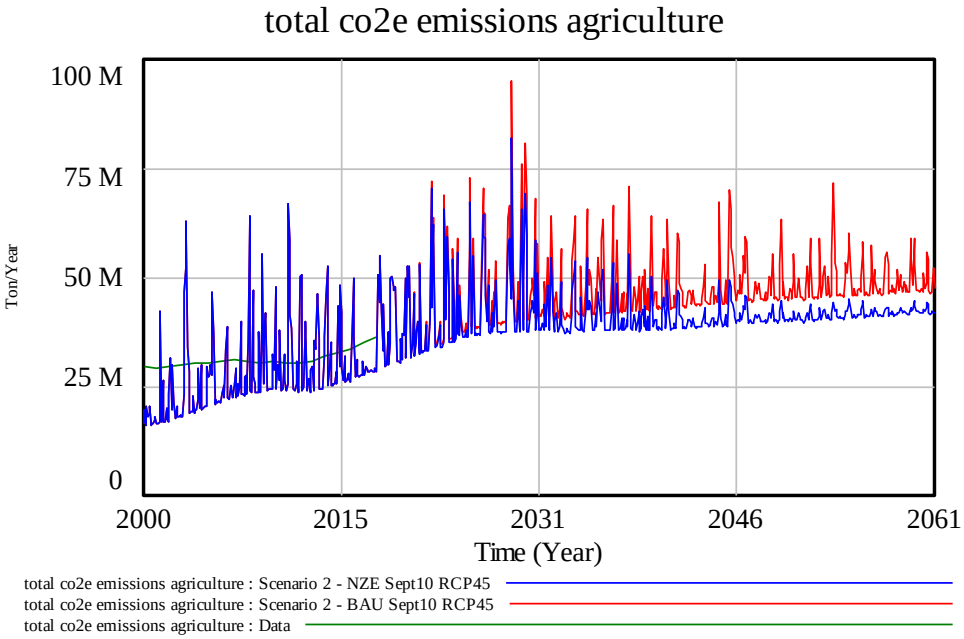


Рисунок 1.30 - Общие выбросы эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве

Прогноз общих выбросов эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве в разбивке по зонам страны за отдельные годы обобщены в таблице 1.14Табл. Во всех зонах наблюдается снижение отраслевых выбросов эквивалента CO_2 в период с 2020 по 2060 год относительно сценария BAU. Прогнозируемое снижение выбросов эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве составляет от 12,1 % (Зона 2) до 38,3 % (Зона 3). Как и в случае с занятостью, наибольшее абсолютное снижение в сценарии NZE наблюдается в Зоне 1 с прогнозируемым сокращением примерно на 5,17 млн тонн в год к 2060 году,

что эквивалентно сокращению ежегодных выбросов на 13,3 % соответственно по сравнению с BAU.

Таблица 1.14 - Общие выбросы эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве по зонам страны - сценарий BAU и NZE

Выбросы эквивалента CO_2 в сельском хозяйстве	Единица измерения	2020	2025	2030	2040	2050	2060
Зона 1							
NZE	млн т/год	29,9	30,9	30,8	31,5	32,0	33,6
NZE в сравнении с BAU	%	-0,3%	-4,3%	-7,6%	-13,1%	-12,2%	-13,3%
BAU	млн т/год	30,0	32,3	33,3	36,3	36,4	38,8
Зона 2							
NZE	млн т/год	5,0	7,1	8,1	6,4	6,6	6,9
NZE в сравнении с BAU	%	-0,3%	-5,3%	-12,3%	-12,7%	-12,9%	-12,1%
BAU	млн т/год	5,0	7,5	9,2	7,4	7,6	7,8
Зона 3							
NZE	млн т/год	2,2	1,5	0,8	1,4	0,7	0,4
NZE в сравнении с BAU	%	-0,3%	-10,2%	-18,9%	-40,8%	-58,3%	-38,3%
BAU	млн т/год	2,3	1,7	1,0	2,3	1,7	0,7
Зона 4							
NZE	млн т/год	3,0	2,9	2,9	1,8	1,6	1,5
NZE в сравнении с BAU	%	-0,3%	-8,2%	-16,8%	-20,6%	-28,2%	-18,9%
BAU	млн т/год	3,0	3,2	3,5	2,2	2,2	1,8

1.2.5. Выбросы: ЗИЗЛХ

Динамика общих выбросов ЗИЗЛХ представлена на рисунке 1.31. Сокращение выбросов обусловлено изменением уровня выбросов в сельском хозяйстве (за счет устойчивых методов ведения сельского хозяйства) и лесных угодьях (за счет лесовосстановления). По прогнозам, земельный сектор станет чистым поглотителем в период с 2022 по 2024 год. В период с 2020 по 2060 год совокупное чистое поглощение в секторе ЗИЗЛХ в сценарии BAU составляет 180,6 млн тонн. В сценарии NZE совокупное чистое поглощение в период с 2020 по 2060 год составляет 1145,6 млн тонн, что обусловлено предусмотренным дополнительным лесовосстановлением и соответствующим поглощением.

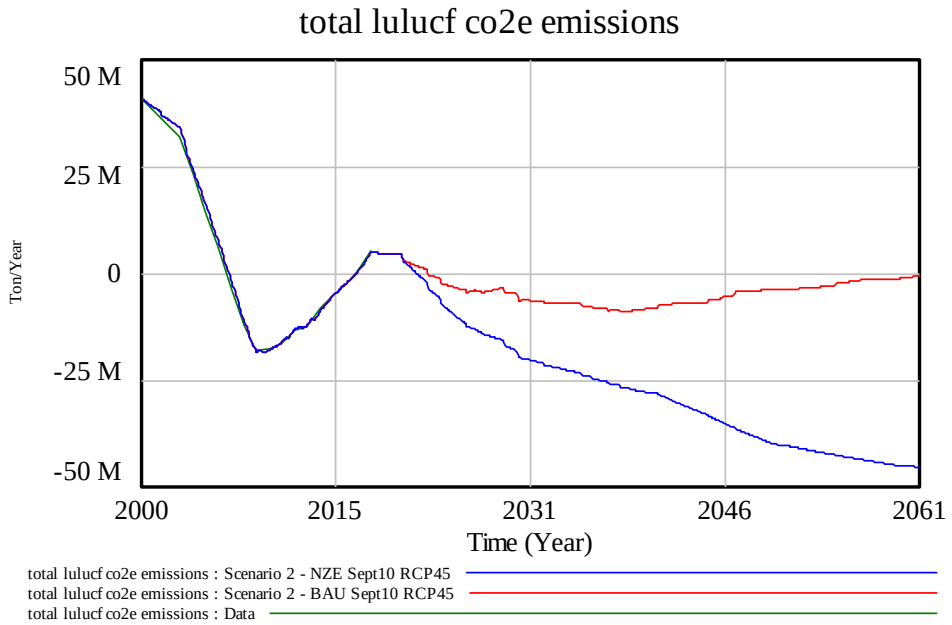


Рисунок 1.31 - Общие выбросы эквивалента CO_2 в ЗИЗЛХ

Совокупные выбросы эквивалента CO_2 с сельскохозяйственных угодий в период с 2020 по 2060 год составят 1,32 млрд тонн (сценарий BAU) и 1,1 млрд тонн (сценарий NZE) соответственно. Сокращение выбросов с сельскохозяйственных угодий обусловлено внедрением органического сельского хозяйства, которое поддерживает или увеличивает поглощение углерода на гектар за счет обеспечения здоровья почвы. Дополнительная

секвестрация лесными угодьями обусловлена восстановлением 1,3 млн гектаров саксаульных лесов как в сценарии BAU, так и в сценарии NZE, а также дополнительным лесовосстановлением, предусмотренным для сценария NZE. Выбросы с сельскохозяйственных угодий и лесных угодий в сценарии BAU и NZE представлены на рисунке 1.32 в сравнении с историческими данными.

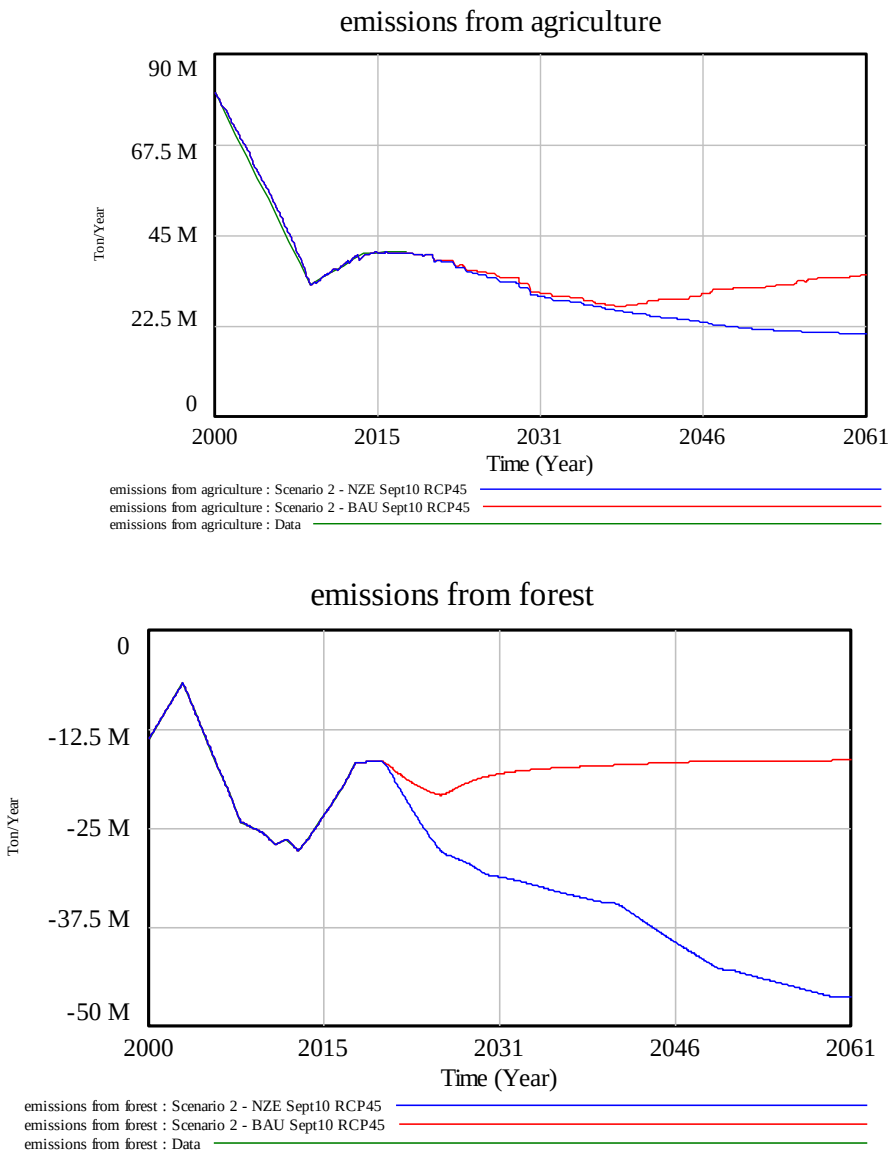
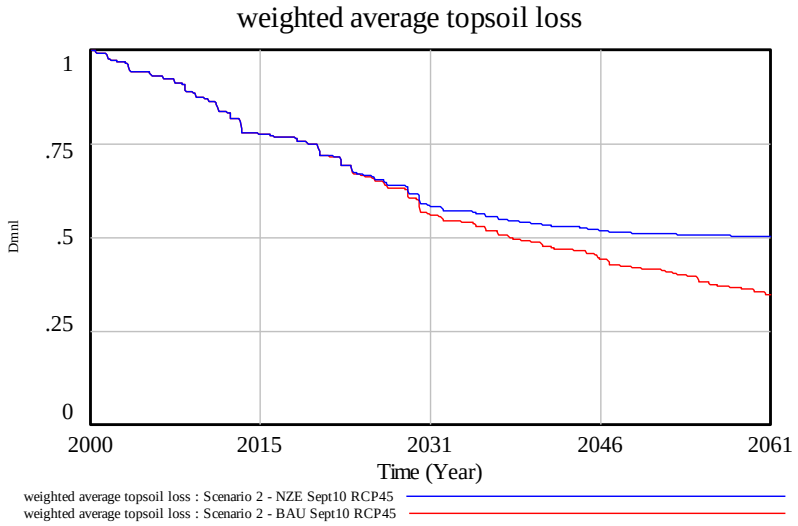


Рисунок 1.32- Выбросы с сельскохозяйственных земель и лесных угодий

Изменение коэффициента выбросов для сельскохозяйственных угодий обусловлено потерей пахотного слоя (негативное воздействие) и органическим сельским хозяйством (положительное воздействие). Прогнозы

средневзвешенных потерь пахотного слоя и среднего сокращения выбросов на гектар общей площади сельскохозяйственных угодий от органического сельского хозяйства представлены на рисунке 1.33. В сценарии NZE средневзвешенная потеря пахотного слоя ниже по сравнению со сценарием BAU и стабилизируется примерно в 2040/2045 годах за счет внедрения устойчивых методов ведения сельского хозяйства. Это сохраняет способность почв поглощать углерод и, следовательно, приводит к более низкому сокращению поглощения углерода в почве по сравнению со сценарием BAU, где деградация почв продолжается до 2060 года. В то же время внедрение органического сельского хозяйства увеличивает общее сокращение выбросов на гектар сельскохозяйственных угодий. Среднее сокращение на гектар земли оценивается путем деления дополнительного поглощения углерода с земель органического сельского хозяйства на общую площадь сельскохозяйственных угодий. В сценариях с низким уровнем выбросов углерода внедрение методов органического сельского хозяйства приводит к среднему сокращению выбросов с сельскохозяйственных угодий в диапазоне 0,058 (сценарий BAU) и 0,207 (сценарий NZE) тонн CO_2 на гектар.



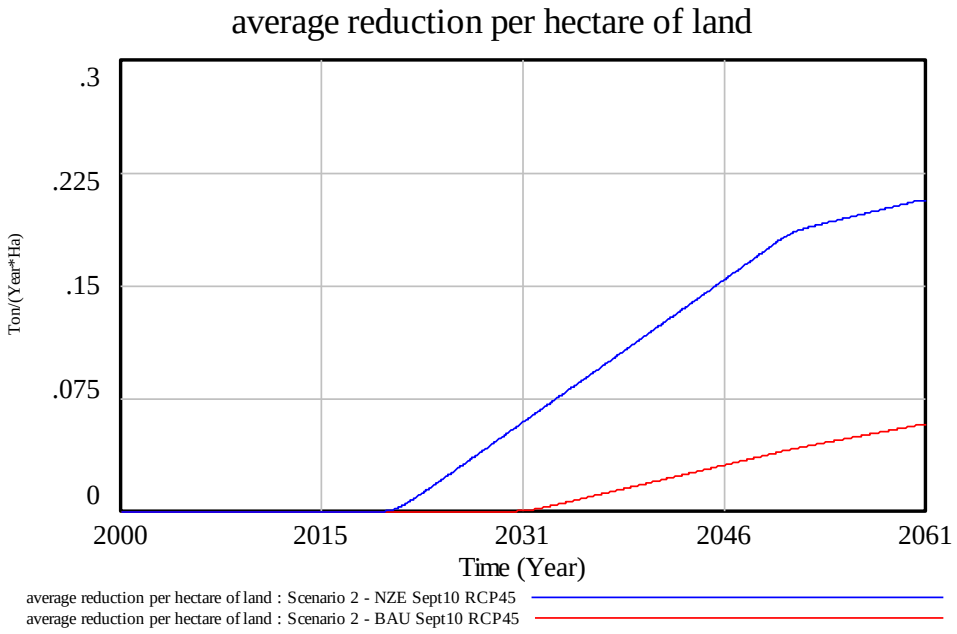


Рисунок 1.33 - Средневзвешенные потери пахотного слоя и среднее сокращение выбросов на гектар - сценарии BAU и NZE

1.2.6. Анализ затрат и выгод в сельском хозяйстве по сценарию декарбонизации

Общие совокупные затраты и выгоды сценариев BAU и NZE на период с 2020 по 2060 год представлены в таблице 1.15. Разница в затратах, указанная в столбце "NZE против BAU", представляет собой чистую разницу в затратах и выгодах между сценарием Чистого нуля и сценарием BAU. С точки зрения общих совокупных затрат, сценарий NZE требует инвестиций в размере 42,55 млрд долларов США, в основном в целях внедрения органического сельского хозяйства, орошения и усовершенствования управления животноводством.

Сокращение выбросов и использования удобрений, прогнозируемое в сценарии NZE, способствует совокупному снижению ОСУ и затрат на химические удобрения в сценарии NZE на 5,46 млрд долларов США и 13,55 млрд долларов США соответственно. В обоих сценариях устойчивое сельское хозяйство и улучшенное орошение также способствуют сокращению потерь, понесенных в результате воздействия изменения климата. Хотя эти

мероприятия способствуют сокращению потерь растениеводства, как описано выше, увеличение объема производства приводит, несмотря на сокращение потерь относительно общего объема производства, к дополнительному чистому убытку в размере 4,67 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год.

Совокупные дополнительные выгоды от реализации мероприятий, перечисленных в таблице 1.15, составляют 172,15 млрд долларов США в сценарии NZE на период с 2020 по 2060 год. В частности, 168,5 млрд долларов США получены за счет дополнительной прибыли от растениеводства, а 3,62 млрд долларов США - за счет дополнительных трудовых доходов. Поскольку продуктивность животноводства остается неизменной во всех сценариях, результаты для сценариев BAU и NZE не показывают различий.

Таблица 1.15 - Комплексный анализ затрат и выгод в сельском хозяйстве

Анализ затрат и выгод в сельском хозяйстве в 2020–2060 гг.	Единица измерения	Сценарий BAU	Сценарий NZE	NZE в сравнении с BAU
Инвестиции и затраты				
Органическое сельское хозяйство	млн долл. США	3 840	18 486	14 646
Инвестиции	млн долл. США	1 007	3 634	2 627
Затраты на ЭиТО	млн долл. США	2 833	14 852	12 019
Орошение	млн долл. США	2 516	5 052	2 536
Инвестиции	млн долл. США	649	1 490	842
Затраты на ЭиТО	млн долл. США	1 867	3 562	1 695
Лесовосстановление	млн долл. США	1 949	1 949	0

Сокращение выбросов животноводства	млн долл. США	5 656	16 550	10 894
Затраты на дополнительные цели по лесовосстановлению	млн долл. США	0	515	515
(1) Общие инвестиции и затраты	млн долл. США	13 960	42 552	28 592
Системные издержки				
Общественная стоимость углерода	млн долл. США	55 523	50 059	-5 464
Неорганическое удобрение	млн долл. США	18 876	5 327	-13 548
Упущенная продукция растениеводства с добавленной стоимостью	млн долл. США	133 269	137 940	4 671
Упущенная продукция животноводства с добавленной стоимостью	млн долл. США	348	348	0
(2) Общие системные затраты	млн долл. США	208 016	193 675	-14 341
Дополнительные выгоды				
Производство продукции растениеводства с добавленной стоимостью	млн долл. США	341 942	510 472	168 529
Производство животноводческой продукции с добавленной стоимостью	млн долл. США	206 776	206 776	0
Трудовые доходы в сельском хозяйстве	млн долл. США	81 094	84 712	3 618
(3) Общие дополнительные выгоды	млн долл. США	629 812	801 959	172 147
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды	млн долл. США	407 836	5652	1577

2. Сектор транспорта.

Модель транспортного сектора дает информацию о показателях автомобильного и автобусного транспорта, как для всей транспортной системы, так и по каждому транспортному средству. В нее включены капитальные и эксплуатационные расходы и расходы на техническое обслуживание частного и общественного транспорта, а также внешние факторы, связанные с заторами, авариями, воздействием на здоровье. Они рассчитаны на национальном уровне и для четырех географических зон, представленных ранее, по разным типам транспортных средств.

Таблица 2.1- Нижние индексы, используемые для транспортного сектора

Нижний индекс	**Рассматриваемые технологии**
Тип транспортного средства	• Автомобили на бензине • Автомобили на дизеле • Автомобили на сжиженном газе • Электромобили • Гибридные автомобили • Автомобили Bio E85
Возраст транспортного средства	• Более 10 лет • Менее 10 лет
Автобусный транспорт	• Автобусы на бензине • Автобусы на дизеле • Автобусы на природном газе • Электрические автобусы • Автобусы на сжиженном газе • Автобусы на биодизельном топливе
Выбросы в атмосферу	• $pm_{2.5}$ • pm_{10} • NOx

На рисунке 2.1 представлена схема причинно-следственных связей транспортного сектора.

Ключевым направлением в транспортном секторе является предотвращение, модификация и улучшение, что подразумевает увеличение парка частных транспортных средств при одновременном сокращении их использования, особенно в городских районах, создавая синергию для мобильности и здоровья.

Количество транспортных средств, используемых в городских районах, в первую очередь обусловлено потребностью в мобильности (под влиянием численности населения и экономического роста, а также неконтролируемой урбанизации), доступностью частных транспортных средств (зависит от дохода, стоимости новых и подержанных транспортных средств, ставок финансирования и цен на энергоносители) и наличия и качества общественного транспорта.

В настоящее время в транспортном секторе преобладают частные транспортные средства, многие из которых устарели (с давних пор), в первую очередь из-за наличия недорогих импортных автомобилей. Большое количество транспортных средств и устаревших автомобилей приводит к следующему:

- Потребление энергии, которое усугубляется наличием большого количества неэффективных транспортных средств (из-за низкой энергоэффективности, а также климата требуется больше времени для прогрева двигателя старых транспортных средств в холодную погоду) и перегруженности (старые транспортные средства не оснащены системами запуска / остановки), что приводит к выбросам в атмосферу, загрязнение воздуха и затраты на здравоохранение (прямые для граждан, а также косвенные для компаний и отраслей).
- Пробки, приводящие к авариям, также вызваны устаревшими транспортными средствами, которые более подвержены механическим

поломкам и, следовательно, к затратам на здравоохранение и инфраструктуру, а также к потере времени и упущенной прибыли для семей и предприятий.

Осознание таких проблем растет и определяет две ключевые тенденции:

- Облегчение доступа к импортным транспортным средствам для предотвращения негативных последствий для экономики (что создает нежелательный цикл усиления). Это приводит к появлению в стране более доступных, но устаревших транспортных средств, что еще больше негативно сказывается на загруженности дорог и потреблении энергии, выбросах в атмосферу и расходах на здравоохранение.
- Для противодействия негативному воздействию на экономику предоставляются потребительские субсидии на цены на энергоносители (создавая второй нежелательный усиливающий цикл). Это увеличивает доступность устаревших транспортных средств, поскольку более высокое энергопотребление таких транспортных средств не приводит к значительному увеличению затрат на электроэнергию для домашних хозяйств и предприятий. Это приводит к тем же побочным эффектам, что и упомянутые выше.

Для повышения топливной эффективности транспортных средств можно было бы ввести нормативные стандарты качества топлива, стимулирующие импорт более эффективных транспортных средств (либо с запретом на устаревшие транспортные средства, либо со стимулами для покупки новых).

Следует ввести плату за парковку в городских районах, чтобы сократить использование транспортных средств. Это создало бы синергию с использованием общественного транспорта.

Для достижения обеих целей необходимо улучшить качество общественного транспорта и расширить инфраструктуру для пеших и велосипедных прогулок. Эти меры позволят одновременно сократить потребление автомобилей и энергии, улучшить качество воздуха и стимулировать физическую активность. Направления инвестиций в общественный транспорт:

- Регулярность (например, улучшение расписания, а также прозрачность, например, предоставление оперативной информации о времени прибытия);
- Качество, например, внедрение новых электрических автобусов (или, в целом, обновление парка вместо модернизации или модификации двигателей);
- Скорость движения, например, по выделенным полосам только для автобусов и, возможно, такси.

Основным препятствием для перехода на общественный транспорт и/или более эффективные транспортные средства является доступность. Широко распространено мнение, что владение личным транспортным средством является более экономичным и удобным, в том числе с учетом погодных условий. С другой стороны, общие издержки такого владения в сочетании с социальными издержками частного транспорта могут стать экономическим аргументом в пользу развития и продвижения общественного транспорта в городах.

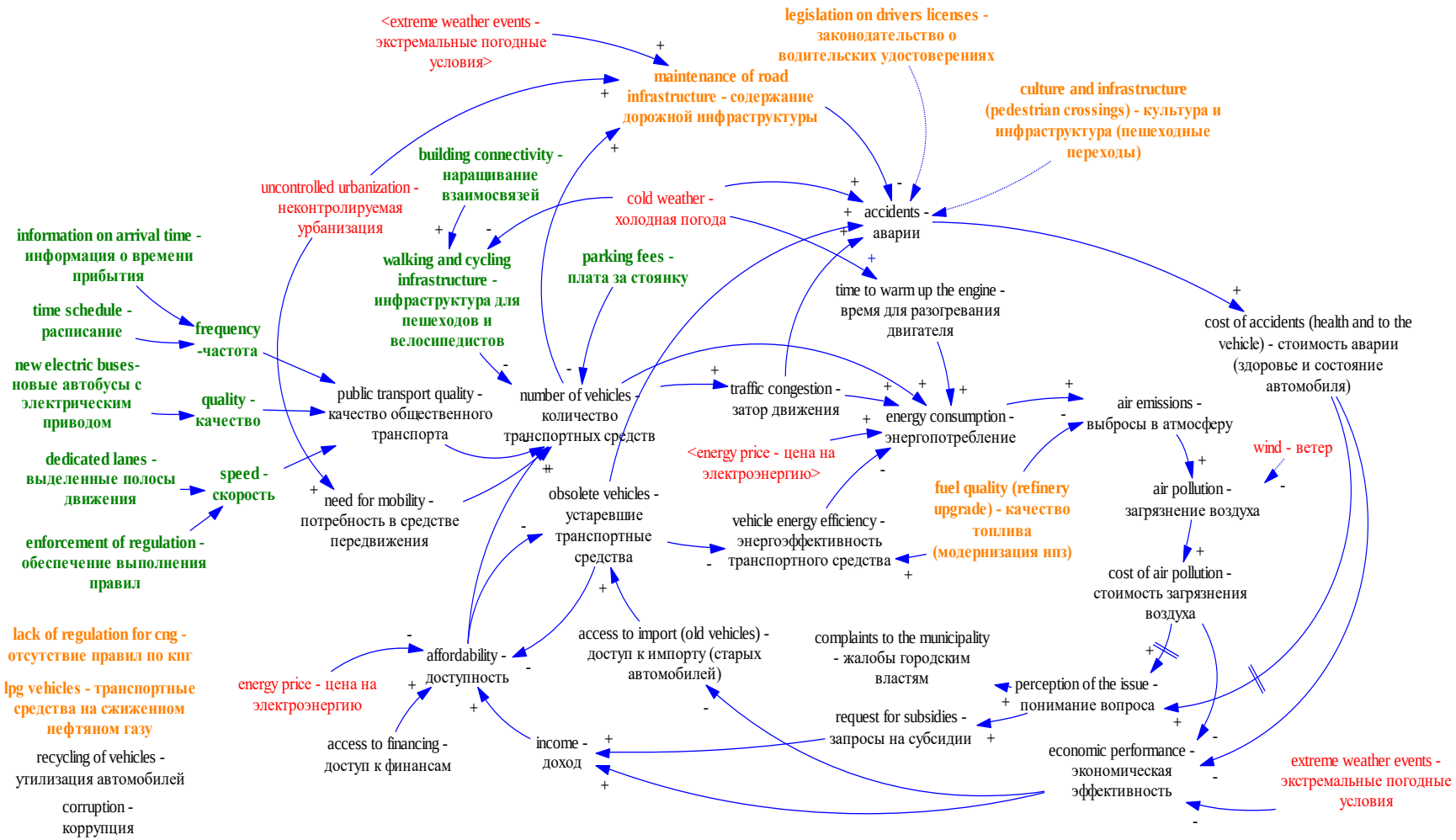


Рисунок 2.1 - Схема причинно-следственной связи/системная карта сектора транспорта

2.1. Методология

Импорт данных был выполнен с помощью функции GET XLS DATA, благодаря которой Vensim считывает данные из таблицы Excel. Следующее уравнение сформулировано для ввоза автомобилей на бензине старше 10 лет.

TIMES – Количество транспортных средств [более 10 лет, бензин] =
GET XLS DATA('KAZ_TIMES_data import.xlsx' , 'Transport' , 'B1' , 'B66')

Та же операция выполняется для всех типов и возрастов транспортных средств путем определения отдельного уравнения импорта с использованием нижних индексов. Оно содержит электронную таблицу, из которой импортируются данные, лист, на котором перечислены соответствующие данные, строку «time», то есть, B1, и первую ячейку импортируемого временного ряда. Использование функций GET XLS DATA позволяет полностью согласовать параметры модели СД с результатами TIMES. Кроме того, этот подход полезен для выполнения нескольких итераций с одними и теми же моделями, где затрагивается множество различных параметров. Вышеупомянутый подход используется для всех переменных, представленных выше.

Дорожная сеть

Модуль дорожной сети в модели содержит запасы строящихся дорог и общую протяженность функционирующих дорог в километрах. Запас строящихся дорог отражает количество дорог, построенных в данном году, исходя из желаемого и фактического количества. Разрушение дорог, ежегодная амортизация дорог, требующих реконструкции, а не только восстановления дорожного покрытия, добавляется к потоку дорожного строительства, чтобы обеспечить поддержание текущего размера дорожной сети до тех пор, пока желаемый размер дорожной сети не уменьшится.

желаемое дорожное строительство =
MAX(0, желаемая дорожная сеть-общая протяженность дорог в км + разрушение дорог)

Переменные для расчета желаемой дорожной сети представлены на Рисунке ниже.

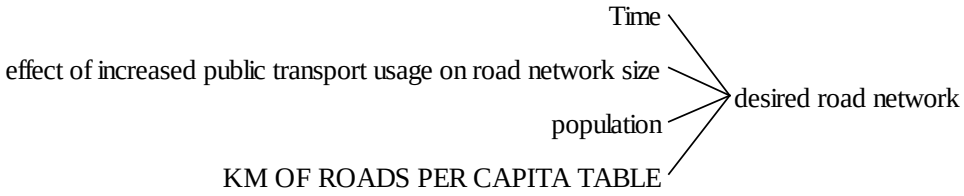


Рисунок 2.2 - Причинно-следственное дерево желаемой дорожной сети

Предполагается, что желаемая дорожная сеть обуславливается ростом численности населения и километража (положительно) и использованием общественного транспорта (отрицательно).

желаемая дорожная сеть =
*население * ТАБЛИЦА КМ ДОРОГ НА ДУШУ НАСЕЛЕНИЯ (Time) * влияние роста пользования общественным транспортом на размер дорожной сети*

Влияние расширения использования общественного транспорта на дорожную сеть создает обратную связь от использования общественного транспорта в отношении (сниженной) потребности в расширении дорожной сети. Если использование общественного транспорта растет, модель симулирует сокращение требуемой дорожной сети. Доля дорог в городских зонах (предполагается пропорциональной количеству людей, проживающих в городах), по оценкам, обеспечивает сокращение дорожной сети только в городах. Уравнение для влияния роста использования общественного транспорта на дорожную сеть представлено ниже.

влияние увеличения использования общественного транспорта на размер дорожной сети =
*"относительный реальный километраж частных транспортных средств" ^ ЭЛАСТИЧНОСТЬ РАЗМЕРА ДОРОЖНОЙ СЕТИ К АВТОМОБИЛЬНОМУ ТРАФИКУ * ТАБЛИЦА ДОЛИ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ГОРОДСКИХ ЗОНАХ(Time) + (1 - ТАБЛИЦА ФРАКЦИИ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В ГОРОДСКИХ ЗОНАХ(Time))*

Дорожное строительство, приток к запасу строящихся дорог, рассчитывается на основе желаемого дорожного строительства.

начало строительства дорог =

MAX(0, желаемое строительство дорог/ВРЕМЯ НА СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ)

Функция MAX используется для того, чтобы этот приток не принимал отрицательных значений, что было бы эквивалентно уменьшению размера дорожной сети, что может произойти только из-за износа/списания.

Средний срок службы дороги в модели зависит от воздействия изменения климата и повышенного износа в зависимости от плотности движения.

средний срок службы дорог =

ИСХОДНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ ДОРОГ / влияние климата на техническое обслуживание / влияние плотности движения на срок службы дорог

Стоимость эксплуатации и технического обслуживания дорожной сети рассчитывается исходя из текущей протяженности дороги в километрах. В стоимости строительства вместо этого используется поток дорожного строительства (т. е. сумма строительства за данный год).

Занятость в дорожном строительстве и техническом обслуживании рассчитывается с использованием того же подхода, что и при расчете капитальных затрат, а также затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание дорог. Рисунок 2.3 представляет Дерево причинно-следственных связей, где обобщены переменные, лежащие в основе расчета общей занятости в секторе дорог.

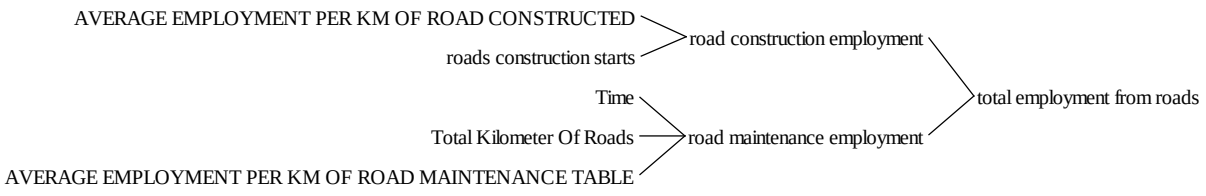


Рисунок 2.3 - Причинно-следственное дерево занятости в строительстве и обслуживании дорог

Трудовой доход, связанный с дорогами, рассчитывается путем умножения общей занятости на дорогах на средний трудовой доход от строительства, эксплуатации и технического обслуживания дорог.

трудовой доход от занятости в секторе дорог =
*общая занятость в секторе дорог * ТАБЛИЦА СРЕДНИХ ТРУДОВЫХ ДОХОДОВ В СЕКТОРЕ ДОРОГ(Time)*

Влияние изменения климата на дорожную сеть

Как уже указывалось в документации уравнения для среднего срока службы дороги, модель симулирует воздействие изменения климата на дорожную сеть. Расчет последствий изменения климата в секторе дорог основан на относительной годовой температуре и эластичности.

влияние климата на техническое обслуживание =
MAX (относительная годовая температура, 1) ^ ЭЛАСТИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДОРОГ К НАРУЖНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Функция MAX в этом уравнении используется для учета влияния тепловой нагрузки на дорожную сеть. Если относительная годовая температура, рассчитанная как месячная температура, деленная на среднегодовую температуру, опускается ниже единицы, никакие последствия не учитываются.

Затраты, связанные с воздействием изменения климата на дорожную сеть, рассчитываются путем сравнения затрат на дорожную сеть без учета последствий изменения климата с затратами на дороги с последствиями изменения климата. Дерево причинно-следственных связей на Рисунке 2.4 иллюстрирует переменные, используемые для расчета ущерба дорожной сети вследствие изменения климата.

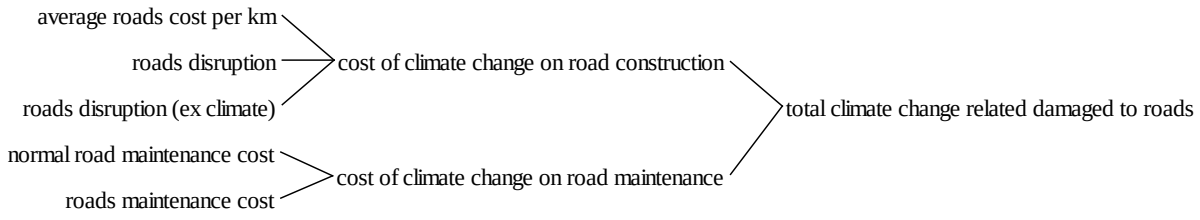


Рисунок 2.4 - Дерево причинно-следственных связей ущерба дорогам, связанного с изменением климата

Приведенное ниже уравнение иллюстрирует, как рассчитываются издержки изменения климата при строительстве дорог. Сначала оценивается протяженность дорог в км, на которые повлияло изменение климата, затем она умножается на среднюю стоимость обслуживания дороги за километр.

стоимость изменения климата при строительстве дорог =
*(разрушение дорог - "разрушение дорог (без учета климата)") * средняя стоимость дорог за километр*

Частные транспортные средства

Количество частных транспортных средств представлено в виде запаса "Количество транспортных средств". Для этого запаса используется нижний индекс типа транспортного средства и возраста транспортного средства, при этом отслеживается распределение по типу топлива и возрасту транспортного средства. На запас транспортных средств влияет изменение количества транспортных средств (приток) и износ транспортных средств (отток). Уравнение для изменения количества транспортных средств описано ниже.

изменения запаса транспортных средств[тип транспортного средства, возраст транспортного средства] =
IF THEN ELSE (указанные средства по типу и возрасту транспортного средства [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] > количество транспортных средств[возраст транспортного средства, тип транспортного средства], (указанные средства по типу и возрасту транспортного средства[возраст транспортного средства, тип транспортного средства] - количество транспортных средств[возраст транспортного средства, тип транспортного средства]) / ВРЕМЯ НА

ПОКУПКУ АВТОМОБИЛЯ + замена автомобиля[возраст транспортного средства, тип транспортного средства] ,0)

Функция IF THEN ELSE используется для обеспечения того, чтобы формула притока запасов транспортных средств не приводила к отрицательным значениям. Следовательно, предполагается, что сокращение количества транспортных средств происходит за счет износа парка с течением времени. Коэффициент замещения учитывается при изменении запаса транспортных средств пока количество указанных транспортных средств превышает текущее количество транспортных средств.

Пройденный километраж транспортных средств (транспортное средство-км) рассчитывается путем умножения количества транспортных средств на среднегодовой километраж по типу транспортного средства.

"указанный километраж личного автотранспорта"[возраст транспортного средства,тип транспортного средства,] =
*IF THEN ELSE (оператор выбора интеграции times=1, "TIMES - километраж личного автотранспорта"[возраст транспортного средства,тип транспортного средства], текущее количество транспортных средств[возраст транспортного средства,тип транспортного средства]*средний километраж по типу автомобиля[Тип автомобиля])*

Функция IF THEN ELSE позволяет использовать либо параметр TIMES, импортированный из электронной таблицы, либо внутреннюю формулу модели. Если оператор выбора интеграции TIMES активен (значение оператора "1"), переменная использует указанный километраж транспортного средства из электронной таблицы Excel с результатами TIMES. Если оператор неактивен (значение "0"), модель рассчитывает пройденный транспортным средством километраж путем умножения количества транспортных средств на среднее количество километров, пройденных одним транспортным средством. Количество поездок на автомобиле в год получается путем деления общего количества пройденных километров на среднее расстояние одной поездки на автомобиле. Эта формулировка была разработана для оценки последствий перехода от поездок на личном транспорте к общественному транспорту. Переменная "Реальный километраж частного транспортного средства"

вычисляет фактический километраж транспортных средств, скорректированный на километраж, которого можно избежать, если активировать политику общественного транспорта.

"реальный километраж частных транспортных средств" [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] =
*(количество поездок в год [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] - поездки, перенесенные на общественный транспорт [возраст транспортного средства, тип транспортного средства]) * СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ ОДНОЙ ПОЕЗДКИ НА АВТОМОБИЛЕ*

Общественный транспорт

Модель общественного транспорта в модели включает автобусный транспорт, и в ней выделено шесть типов автобусов (см.Таблица 2.1). Размер автобусного парка определяется количеством автобусов в запасе, которое изменяется в зависимости от закупки автобусов (приток) и списания автобусов (отток). Уравнение для закупа автобусов описано ниже.

закупка автобусов[транспорт] =
IF THEN ELSE (нужное количество автобусов по типам[автобусный транспорт] > количество автобусов[автобусный транспорт], (нужное количество автобусов по типам[автобусный транспорт] - количество автобусов[автобусный транспорт]) / ВРЕМЯ НА ЗАКУПКУ АВТОБУСОВ + коэффициент замещения автобусов[автобусный транспорт], 0)

Как и в формуле, используемой для изменения количества транспортных средств, функция IF THEN ELSE обеспечивает, чтобы приток автобусов не принимал отрицательные значения. Коэффициент замещения учитывается при закупке автобусов пока желаемое количество автобусов превышает текущее количество автобусов.

Километраж автобусов рассчитывается путем умножения количества автобусов на множитель среднего километража в год.

"километраж автобусов"[автобусный транспорт] =
*IF THEN ELSE (оператор выбора интеграции times=1, "TIMES - километраж автобусного транспорта"[автобусный транспорт], текущее количество автобусов[автобусный транспорт] * IF THEN ELSE (Time > 2020 (среднегодовой километраж автобусов до 2019 года[транспорт]*(количество автобусов в 2020 году[автобусный транспорт] / текущее количество автобусов[автобусный транспорт])) + (среднегодовой километраж автобусов после 2020 года[автобусный транспорт] * (текущее количество автобусов[автобусный транспорт] - количество автобусов в 2020 году[автобусный транспорт]) / текущее количество автобусов[автобусный транспорт]), (среднегодовой километраж автобусов до 2019 года[автобусный транспорт])))*

Функция IF THEN ELSE используется для интеграции результатов TIMES с использованием электронной таблицы Excel, как описано выше. Если оператор выбора интеграции TIMES активен (значение оператора "1"), Vensim импортирует километраж автобусов из электронной таблицы с результатами TIMES. Если оператор неактивен (значение переключателя "0"), модель рассчитает километраж автобуса путем умножения количества автобусов по типу автобуса на средний километраж по типу автобуса. В формуле рассчитывается средневзвешенный километраж автобусов до 2020 года и после 2020 года. Средневзвешенное значение рассчитывается путем умножения соответствующего километража транспортных средств на долю автобусов до 2020 года и после 2020 года соответственно. Эта формула применяется в том случае, если маршрут перемещения новых автобусов отличается от маршрутов старых автобусов.

Спрос на энергию в секторе транспорта

Потребление энергии частными автомобилями рассчитывается путем умножения количества транспортных средств на расход топлива на один автомобиль в год, а затем на расход энергии на километр (с учетом типа и возраста транспортного средства). Рисунок 2.5 демонстрирует переменные, используемые для расчета годового потребления энергии частными автомобилями. Дерево причинно-следственных связей показывает оператор

выбора интеграции times и переменную "TIMES – потребление энергии частными транспортными средствами", которая была введена для импорта результатов TIMES из Excel. Функция IF THEN ELSE используется, чтобы определить, импортируются ли результаты TIMES или используется эндогенная формула.

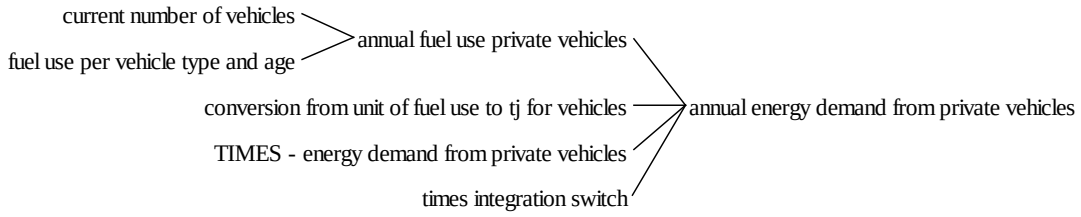


Рисунок 2.5 - Причинно-следственное дерево ежегодного потребления энергии частными транспортными средствами

Годовой расход топлива зависит от общего пробега транспортного средства в км по типу и возрасту автомобиля и расходу топлива на 1 км пробега. В уравнении для расчета годового расхода топлива различаются двигатели внутреннего сгорания и электромобили. Уравнение для транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания выглядит следующим образом:

потребление топлива по типу и возрасту автомобиля[возраст автомобиля,все, кроме электромобилей] =
*СРЕДНИЙ КИЛОМЕТРАЖ ПО ТИПУ АВТОМОБИЛЯ[все, кроме электромобилей]*НИЖНИЙ ИНДЕКС МНОЖИТЕЛЬ ВОЗРАСТА АВТОМОБИЛЯ[возраст автомобиля]*ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВА НА КИЛОМЕТР ПО ТИПУ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА[все, кроме электромобилей]*МНОЖИТЕЛЬ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВА, ПРИМЕНЯЕМЫЙ ДЛЯ ВОЗРАСТА АВТОМОБИЛЯ[возраст автомобиля]*

Уравнение для среднего расхода топлива на одно транспортное средство для электромобилей выглядит следующим образом:

расход топлива по типу и возрасту транспортного средства [возраст транспортного средства, ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ] =

*СРЕДНИЙ КИЛОМЕТРАЖ ПО ТИПУ АВТОМОБИЛЯ[ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ] * ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯМИ [ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ] * НИЖНИЙ ИНДЕКС МНОЖИТЕЛЬ ВОЗРАСТА АВТОМОБИЛЯ[возраст транспортного средства] * КОЭФФИЦИЕНТ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВА, ПРИМЕНЯЕМЫЙ ДЛЯ ВОЗРАСТА АВТОМОБИЛЯ [возраст автомобиля]*

Тот же подход используется для расчета годового спроса на энергию от автобусов, как представлено на рисунке 2.6.

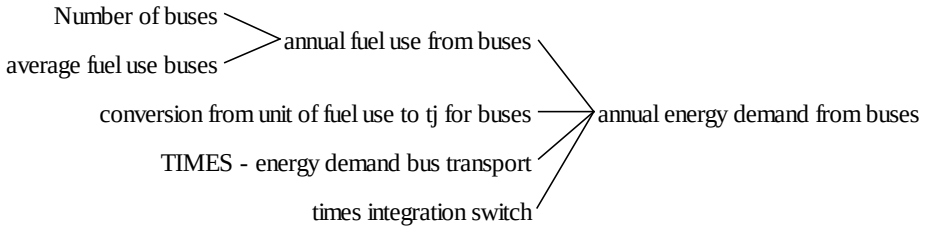


Рисунок 2.6 - Причинно-следственное дерево годового спроса на энергию от автобусов

Уравнение для расхода топлива по типу автобуса основано на количестве автобусов (по типу) и соответствующем среднем расходе топлива на автобус.

расход топлива на автобус по типу [автобусный транспорт] =
*Количество автобусов [автобусный транспорт] * средний расход топлива на автобусы [автобусный транспорт]*

Выбросы транспорта и загрязнители воздуха

Выбросы эквивалента CO2 в транспортном секторе рассчитываются путем умножения годового расхода топлива частными транспортными средствами и автобусами на средние выбросы на ТДж потребляемого топлива. В качестве примера представлены переменные выбросы эквивалента CO2 от частных транспортных средств.

выбросы эквивалента CO2 от личного транспорта[возраст транспортного средства,тип транспортного средства] =
IF THEN ELSE (оператор выбора интеграции times=1, годовой спрос на энергию от частных транспортных средств[возраст транспортного средства,тип транспортного

средства,]"TIMES - средний коэффициент выбросов по типу топлива"[тип автомобиля], годовой спрос на энергию от частных транспортных средств[возраст транспортного средства,тип транспортного средства]*средний коэффициент выбросов по типу топлива[тип транспортного средства])*

Функция IF THEN ELSE позволяет импортировать выбросы эквивалента CO2, связанные с транспортными средствами, из электронной таблицы с результатами TIMES. Если оператор выбора интеграции TIMES имеет значение "1", указывающее, что оператор активен, Vensim импортирует выбросы эквивалента CO2 от частных транспортных средств согласно прогнозу TIMES из электронной таблицы Excel. Если оператор неактивен (значение оператора "0"), выбросы эквивалента CO2, связанные с транспортными средствами, рассчитываются путем умножения годового потребления энергии транспортными средствами по типу топлива на соответствующий коэффициент выбросов для каждого из рассматриваемых видов топлива. В дереве причинно-следственных связей на рисунке 2.7 показаны переменные, используемые для расчета общих выбросов эквивалента CO2 от транспорта.

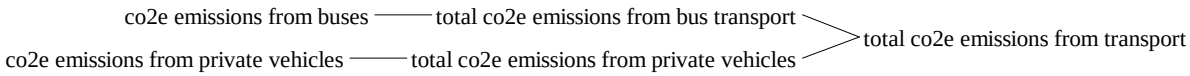


Рисунок 2.7 - Причинно-следственное дерево совокупных выбросов эквивалента CO2, сектор транспорта

Переменные выбросов эквивалента CO2 от частных транспортных средств и выбросов эквивалента CO2 от автобусов предоставляют информацию о ежегодных выбросах в разбивке по типам транспортных средств и автобусов. К общим выбросам эквивалента CO2 от частных транспортных средств и автобусного транспорта применяется функцию SUM, которая суммирует общее количество выбросов по всем нижним индексам, используемым в модели, что дает общее количество выбросов эквивалента CO2 на уровне транспортной системы (национальном). Уравнение для общих

выбросов эквивалента CO2 от автобусного транспорта выглядит следующим образом:

общие выбросы эквивалента CO2 от автобусного транспорта =
SUM(выбросы эквивалента CO2 от автобусов[автобусный транспорт!])

В дополнение к выбросам эквивалента CO2 в транспортном секторе также предоставлена информация о загрязнении воздуха, связанного с транспортом. Дерево причинно-следственных связей на рисунке 2.8 иллюстрирует переменные, используемые для расчета общего объема загрязнителей воздуха, генерируемых частными автомобилями и автобусами.

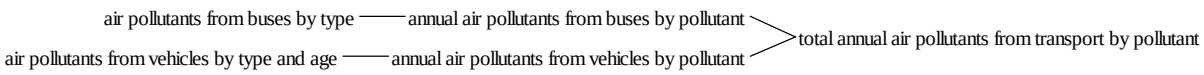


Рисунок 2.8 - Причинно-следственное дерево общего годового объема загрязнителей воздуха от транспорта по видам загрязняющих веществ

Переменные, используемые для расчета загрязнения воздуха от частных автомобилей, представлены на рисунке 2.9. Реальный километраж транспортного средства (задокументированный выше) умножается на средний коэффициент выбросов в атмосферу на километр пробега. Коэффициент пересчета из граммов выбросов в тонну применяется для получения годового объема выбросов в атмосферу (по загрязнителям) в тоннах в год.

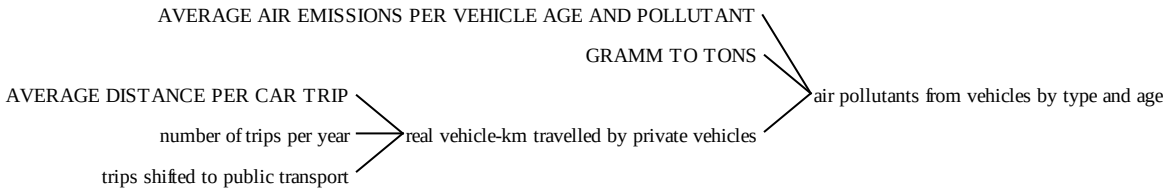


Рисунок 2.9 - Причинно-следственное дерево загрязнения воздуха от транспортных средств по типу и возрасту

В расчетах выбросов в атмосферу, связанных с автобусным транспортом, используется тот же подход, что и в случае частных

автомобилей. Уравнение, используемое для расчета годового количества загрязняющих воздух веществ от автобусов, представлено ниже.

загрязнители воздуха от автобусов по типу [автобусный транспорт, выбросы в атмосферу] =
*"километраж автобусов" [автобусный транспорт] * средний объем загрязнителей воздуха от автобусов по типу [автобусный транспорт, выбросы в атмосферу] / граммы в тонны*

Внешние факторы, связанные с сектором транспорта

Также в модели были рассмотрены следующие внешние факторы, связанные с транспортом:

- Стоимость дорожно-транспортных происшествий
- Стоимость времени, потерянного из-за заторов
- Стоимость респираторных заболеваний
- Стоимость шумового загрязнения
- Стоимость эффектов для города

Стоимость дорожно-транспортных происшествий

Общие экономические издержки ДТП рассчитываются как сумма ДТП со смертельным исходом, ДТП с травмами и ДТП только с материальным ущербом. В дереве причинно-следственных связей на рисунке 2.10 показаны переменные, используемые для расчета стоимости ДТП по типу и возрасту транспортного средства. Такой же подход используется для оценки издержек в связи с ДТП для частных транспортных средств и автобусного транспорта.

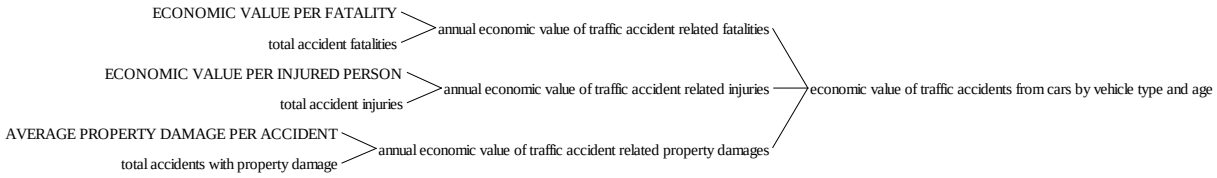


Рисунок 2.10 - Причинно-следственное дерево и экономическая стоимость ДТП

Экономическая стоимость каждого типа аварий рассчитывается путем умножения числа каждого типа ДТП на среднюю экономическую стоимость. Уравнение, используемое для расчета экономической стоимости ДТП с травмами, представлено ниже.

годовая экономическая стоимость травм, связанных с ДТП[возраст транспортного средства, тип транспортного средства] =
*общее количество травм в результате ДТП[возраст транспортного средства, тип транспортного средства] * ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СТОИМОСТЬ НА ОДНОГО ПОСТРАДАВШЕГО*

Общее число аварий рассчитывается путем умножения реального километража за год на среднее число аварий на один пройденный транспортом километр.

ежегодные ДТП частных транспортных средств [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] =
"реальный километраж частных транспортных средств" [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] ТАБЛИЦА КОЛИЧЕСТВА ДТП НА ОДИН КИЛОМЕТР, ПРОЙДЕННЫЙ ЧАСТНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ(Time)*

Среднее число аварий на километр пробега — это временная функция, рассчитанная с использованием национальной статистики.

Стоимость времени, потерянного из-за заторов

Время, потерянное из-за заторов, следовательно, ежегодная задержка из-за заторов, оценивается на основе количества транспортных средств и относительного пробега частных транспортных средств и общественного транспорта в км в городах и исходной задержки из-за заторов. Дерево

причинно-следственных связей общей годовой задержки из-за заторов представлено на рисунке 2.11.

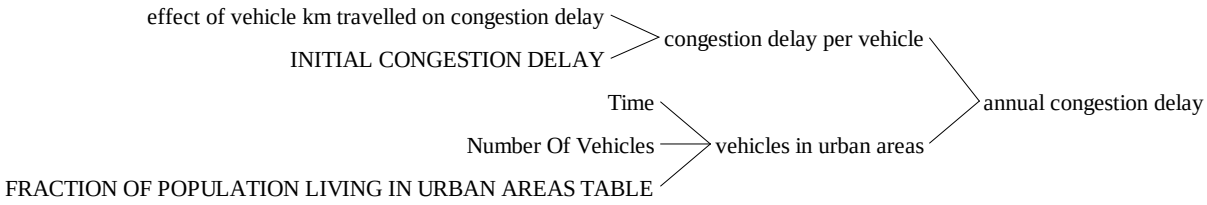


Рисунок 2.11 - Причинно-следственное дерево годовой задержки из-за заторов

Годовая стоимость заторов рассчитывается путем умножения годовой задержки из-за заторов на среднюю стоимость часа. Средний ВВП на душу населения в час служит множителем для расчета стоимости времени, потерянного из-за пробок.

общая стоимость времени, потерянного из-за заторов =
*годовая задержка из-за заторов * СРЕДНЯЯ СТОИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ЗА ЧАС*

Стоимость респираторных заболеваний

Стоимость респираторных заболеваний рассчитывается на основе общего количества загрязнителей воздуха, выбрасываемых транспортными средствами. В качестве основного источника данных используется долгосрочное исследование последствий выбросов в атмосферу, проведенное Ахметовым (2014). Последствия загрязнения воздуха рассчитываются для частных транспортных средств и автобусов. Стоимость респираторных заболеваний ниже представлена в качестве примера.

В стоимости респираторных заболеваний сочетается стоимость государственной медицинской помощи при поступлении в больницу, стоимость госпитализации и стоимость времени, потерянного из-за дней ограниченной трудоспособности (частные расходы). Модель оценивает количество госпитализаций на основе общего количества загрязнителей

воздуха от автомобилей и автобусов и среднего числа респираторных заболеваний на тонну загрязнителя.

---

*респираторные заболевания, вызванные загрязнением воздуха частными транспортными средствами [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] = SUM(загрязнители воздуха от транспортных средств по типу и возрасту [возраст транспортного средства, тип транспортного средства, выбросы в атмосферу!])*СРЕДНЕЕ ЧИСЛО РЕСПИРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ТОННУ ВЫБРОСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ*

Число респираторных заболеваний используется для расчета прямых государственных расходов на здравоохранение путем умножения числа респираторных заболеваний на средние государственные расходы на здравоохранение в расчете на один случай респираторных заболеваний на основе ОНУВ Всемирной организации здравоохранения (WHO, 2019).

Стоимость госпитализации рассчитывается путем умножения числа респираторных заболеваний, требующих госпитализации, на среднюю стоимость госпитализации. Предполагаемая доля случаев, требующих госпитализации, составляет 25%.

госпитализация в связи с респираторными заболеваниями, связанными с частными транспортными средствами [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] =
респираторные заболевания, вызванные загрязнением воздуха частными транспортными средствами [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] ДОЛЯ РЕСПИРАТОРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ, ТРЕБУЮЩИХ ГОСПИТАЛИЗАЦИИ*

Число случаев, требующих госпитализации, затем умножается на среднюю стоимость госпитализации, чтобы получить стоимость госпитализации в связи с респираторными заболеваниями, вызванными загрязнением воздуха, связанным с транспортом.

Стоимость времени, потерянного из-за дней ограниченной трудоспособности, рассчитывается на основе числа случаев, требующих госпитализации, и средней стоимости времени (см. документацию о времени, потерянном из-за заторов).

значение времени, потерянного из-за респираторных заболеваний в связи с частными транспортными средствами[возраст транспортного средства, тип транспортного средства] =
*дни ограниченной трудоспособности из-за респираторных заболеваний в связи с частными транспортными средствами[возраст транспортного средства, тип транспортного средства]*ЧАСЫ В ДЕНЬ*СРЕДНЯЯ СТОИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ЗА ЧАС*

Стоимость шумового загрязнения

Стоимость шумового загрязнения рассчитывается на основе общего пробега транспортных средств в км и средней стоимости шумового загрязнения на один км пробега (CE Delft, Infras & Fraunhofer ISI , 2011).

стоимость шума от частных транспортных средств [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] =
"реальный километраж частных транспортных средств" [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] "стоимость шума на км пробега"*МНОЖИТЕЛЬ ВНЕШНИХ ЭФФЕКТОВ ДЛЯ ВОЗРАСТА АВТОМОБИЛЯ[возраст транспортного средства]*

Множитель внешних эффектов для возраста автомобиля применяется на основе Bugliarello и соавт.(2014), которые дают среднее число дБ от различных типов транспортных средств. Это допущение отражает разницу в уровнях шума от транспортных средств разного возраста и, следовательно, приводит к тому, что стоимость шума старых транспортных средств несколько выше по сравнению с более новыми транспортными средствами.

Стоимость эффектов для города

Стоимость воздействия на город основана на том же подходе, что и стоимость шумового загрязнения. Общий километраж частных транспортных средств и автобусов умножается на среднюю стоимость последствий для города и множитель внешних эффектов, исходя из допущения, что издержки от транспортных средств старше 10 лет несколько выше, чем издержки от транспортных средств моложе 10 лет.

стоимость последствий для города от частных транспортных средств [] = " реальный километраж частных транспортных средств" [возраст транспортного средства, тип транспортного средства] "стоимость последствий для города на км пробега"*МНОЖИТЕЛЬ ВНЕШНИХ ЭФФЕКТОВ ДЛЯ ВОЗРАСТА АВТОМОБИЛЯ[возраст транспортного средства]*

2.2. Описание результатов в сценарии декарбонизации в секторе транспорта

В этом разделе представлены результаты моделирования в секторе транспорта. Как и в секторе зданий, сценарии BAU и NZE согласованы с TIMES, поскольку механизм оптимизации TIMES используется для достижения поставленных целей в части сокращения выбросов. Результаты из TIMES затем импортируются в модель СД. В таблице 2.2 представлен обзор политики, реализованной в сценарии NZE. В сценариях низкоуглеродного развития модель учитывает обновление парка транспортных средств, включая изменение структуры парка, в сочетании с заменой поездок на автомобиле на общественный транспорт. Предполагается, что эти цели будут реализовываться линейно в период с 2020 по 2050 год.

Таблица 2.2 - Допущения сценариев для транспортного сектора

Допущения	**Сценарий BAU**	**Сценарий NZE**
Размер парка транспортных средств	На основе TIMES	На основе TIMES
Модернизация парка транспортных средств (возраст транспортных средств)	На основе TIMES	На основе TIMES
Состав парка транспортных средств	На основе TIMES	На основе TIMES
Километраж и соответствующее потребление энергии частными транспортными средствами	На основе TIMES	На основе TIMES
Размер автобусного парка	На основе TIMES	На основе TIMES
Состав автобусного парка	На основе TIMES	На основе TIMES

Километраж автобусов и соответствующее потребление энергии	На основе TIMES	На основе TIMES
Доля пассажиро-километров, перенесенных на общественный транспорт	0%	20% (также из TIMES)

Дорожная сеть

Результаты моделирования для размера дорожной сети Казахстана представлены на рисунке 2.12. Как в сценарии BAU, так и в сценарии NZE дорожная сеть, по прогнозам, будет расти до 2060 года. В 2060 году, согласно прогнозам, общая протяженность дорожной сети составит 109 850 км, что эквивалентно увеличению на 12,5% по сравнению с 2020 годом.

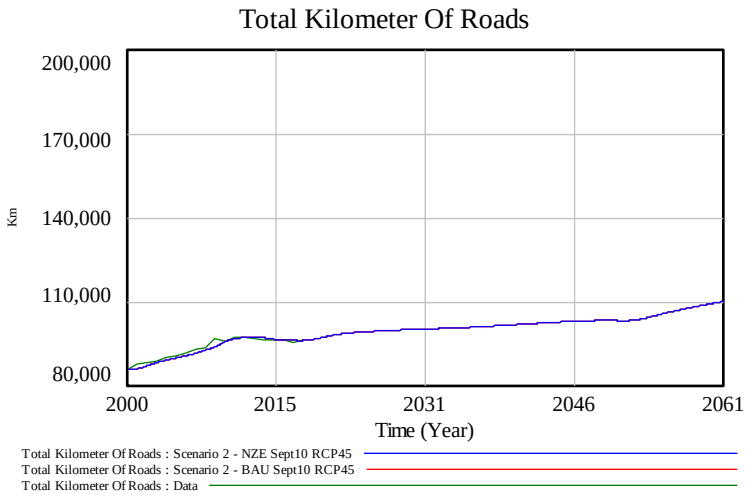


Рисунок 2.12 - Общая протяженность дорог в километрах

Исходя из предположения, что размер дорожной сети одинаков в обоих сценариях, занятость, связанная с сектором дорог, одинакова в сценариях BAU и NZE. К 2060 году, по прогнозам, будет создано около 289 000 рабочих мест, связанных со строительством и обслуживанием дорог. Рисунок 2.13 показывает динамику общей занятости в секторе дорог в сценариях BAU и NZE.

Рисунок 2.13 - Занятость в секторе дорог - сценарии BAU и NZE

2.2.1. Частный транспорт и автобусный транспорт

Динамика общего количества транспортных средств и общего количество автобусов представлены на рисунке 2.14. В сценарии BAU и NZE общее количество частных транспортных средств, а также состав парка транспортных средств основаны на результатах моделирования TIMES. В сценарии BAU количество частных транспортных средств увеличивается примерно с 3,88 млн в 2020 году до 4,41 млн транспортных средств в 2060 году. В сценарии NZE общий парк транспортных средств немного снизится в период с 2020 по 2035 год, прежде чем превысит уровни BAU, достигнув 4,54 млн транспортных средств к 2060 году, несмотря перенос километража с частного транспорта на общественный транспорт, смоделированный TIMES. Количество автобусов в сценарии BAU увеличивается примерно с 92 700 в 2020 году до 111 000 в 2060 году. В сценарии NZE, под влиянием дополнительного спроса на автобусный транспорт в результате перехода от поездок на автомобилях к общественному транспорту и расширения общественного транспорта согласно допущению TIMES, общее количество автобусов к 2060 году увеличится до 164 000 единиц, что на 47,7 % больше по сравнению со сценарием BAU.

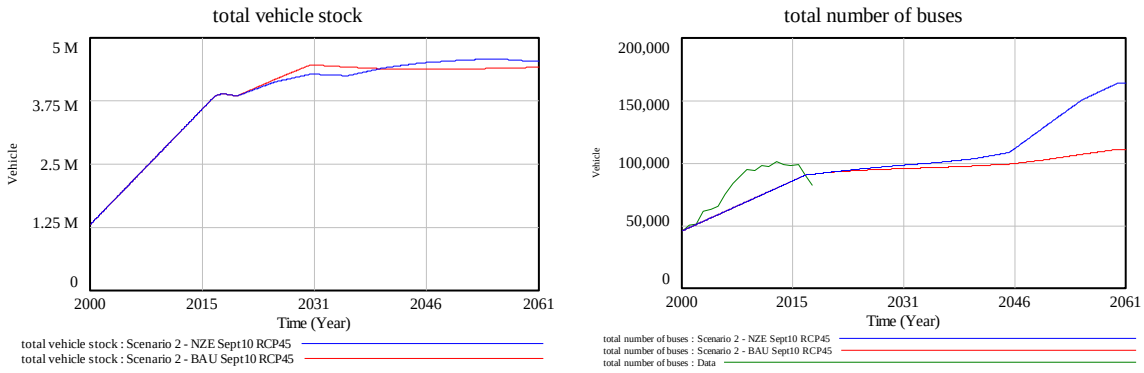


Рисунок 2.14 - Общий запас транспортных средств и общий запас автобусов

В результате моделирования TIMES в NZE доля автомобилей, возраст которых составляет менее 10 лет, ниже по сравнению со сценарием BAU и к 2060 году превысит значения BAU. В то время как доля новых транспортных средств достигает 79,1% в 2060 году по сценарию BAU, сценарий NZE указывает на долю в 81,2% в 2060 году. Доля автомобилей возрастом менее 10 лет в обоих сценариях представлена на рисунке 2.15.

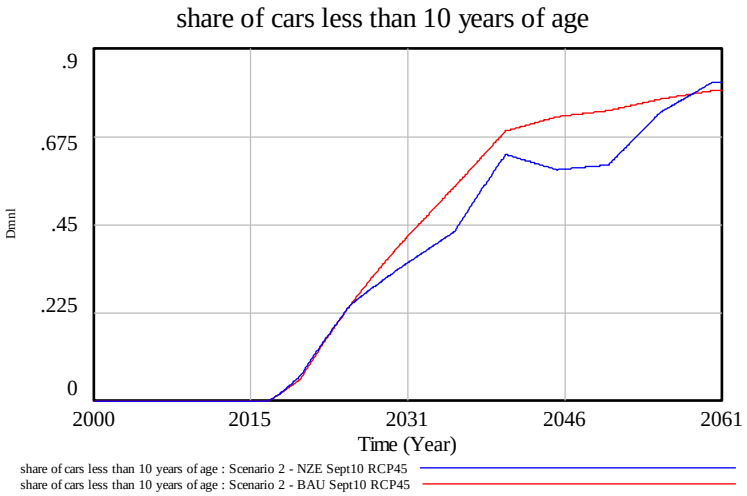


Рисунок 2.15 - Доля автомобилей возрастом менее 10 лет

Рисунок 2.16 иллюстрирует долю электромобилей (слева) и долю электрических автобусов (справа) в сценариях BAU и NZE. В сценарии BAU прогнозы TIMES указывают на отсутствие электромобилей в автопарке, в то время как доля электромобилей в сценарии NZE достигнет 100 % к 2045 году, что означает полную электрификацию частного автопарка. Для автобусов

сценарии BAU и NZE показывают очень похожие результаты. Исходя из результатов TIMES, указанных в таблице 2.2, к 2060 году электрификация автобусного парка не произойдет, а сценарий NZE прогнозирует постепенную электрификацию автобусного парка с 2035 года, до 81,1% к 2060 году.

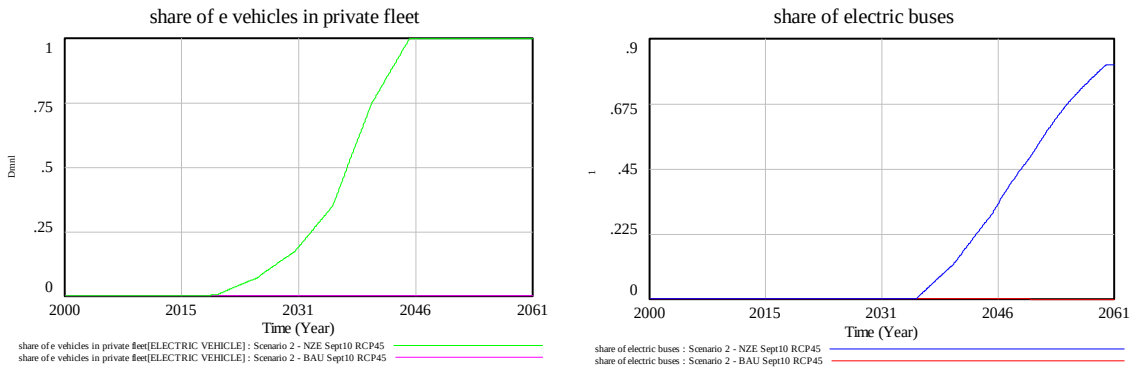


Рисунок 2.16 - Доля электромобилей и доля электрических автобусов

2.2.2. Спрос на энергию в секторе транспорта

Прогнозируемый спрос на энергию со стороны частных транспортных средств и автобусов для сценариев BAU и NZE представлены на рисунке 2.17. В совокупности в период с 2020 по 2060 год спрос на энергию от автомобилей составит 7,1 млн ТДж в сценарии BAU и 3,61 млн ТДж в сценарии NZE. Это указывает на то, что предусмотренные изменения в составе парка транспортных средств позволят снизить совокупное энергопотребление автомобилей на 3,49 млн ТДж, или 49,2%, в течение следующих 40 лет. Совокупный спрос на энергию со стороны автобусов в период с 2020 по 2060 год составляет 1,28 миллионов ТДж в сценарии BAU и 1,12 миллионов ТДж в сценариях BAU и NZE соответственно. Несмотря на увеличение использования общественного транспорта, использование электрических автобусов позволяет снизить потребление энергии, связанное с автобусами, на 161 100 ТДж (-12,6%) в течение следующих 40 лет, несмотря на расширение автобусного парка. Прогнозируемое сокращение эквивалентно среднему сокращению примерно на 4030 ТДж в год.

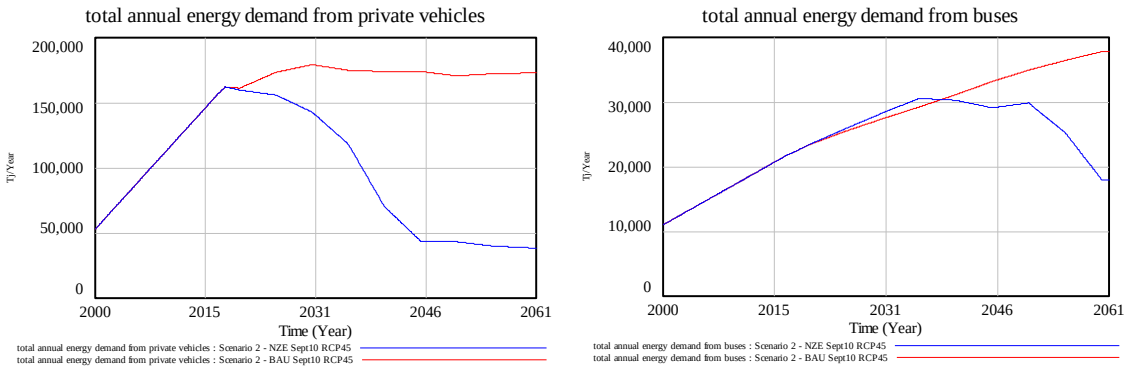


Рисунок 2.17 - Спрос на энергию со стороны частных транспортных средств и автобусного транспорта - сценарии BAU и NZE

Годовой спрос на энергию от частных транспортных средств и автобусного транспорта в сценариях BAU и NZE за отдельные годы представлен в Таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Спрос на энергию со стороны частных транспортных средств и автобусного транспорта.

Спрос на энергию	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
Спрос на энергию со стороны частных транспортных средств							
NZE	ТДж/год	159 340	154 697	140 530	67 806	42 946	38 589
NZE в сравнении с BAU	*%*	*-1,9%*	*-11,0%*	*-21,4%*	*-61,0%*	*-74,9%*	*-77,7%*
BAU	ТДж/год	162 358	173 907	178 821	173 922	170 805	172 871
Спрос на энергию со стороны автобусного транспорта							
NZE	ТДж/год	23 644	26 135	28 509	30 165	29 430	18 011

NZE в сравнении с BAU	*%*	*0,2%*	*1,8%*	*3,4%*	*-3,7%*	*-16,1%*	*-52,3%*
BAU	ТДж/год	23 605	25 677	27 575	31 325	35 077	37 788

2.2.3. Выбросы транспорта и загрязнители воздуха

Рисунок 2.18 иллюстрирует динамику выбросов эквивалента CO2 от частных транспортных средств (слева) и автобусного транспорта (справа) в сценариях BAU и NZE. В сценарии NZE прогнозы показывают, что автобусный транспорт и частные транспортные средства, благодаря электрификации парка в сочетании с декарбонизацией энергетического сектора, к 2060 году будут выделять выбросы парниковых газов, близкие к нулю. Совокупные выбросы эквивалента CO2 от частных транспортных средств прогнозируются на уровне 494,47 млн тонн в сценарии BAU и 186,53 млн тонн в сценарии NZE, что указывает на сокращение выбросов ПГ, связанных с транспортными средствами, на 307,94 млн тонн в течение следующих 40 лет. Для автобусного транспорта совокупная разница в выбросах эквивалента CO2 между сценарием NZE и сценарием BAU составляет 26,52 млн тонн за период с 2020 по 2060 год, что эквивалентно сокращению совокупных выбросов на 29,5% по сравнению с BAU. Это сокращение совокупных выбросов от автобусного транспорта в сценарии NZE эквивалентно ежегодному сокращению выбросов ПГ в среднем на 663 050 тонн в год в период с 2020 по 2060 год.

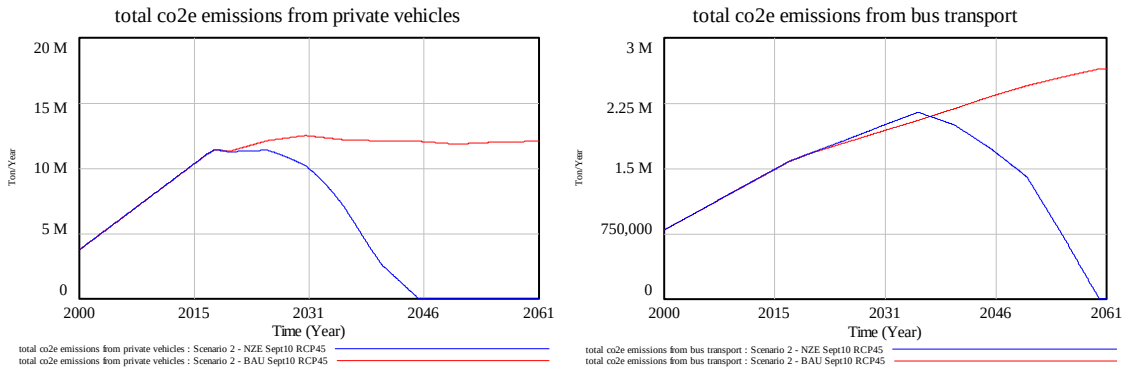


Рисунок 2.18 - Общие выбросы эквивалента CO2 от частных транспортных средств и автобусного транспорта - сценарии BAU и NZE

Ежегодные выбросы эквивалента CO2 от частных транспортных средств и автобусного транспорта за отдельные годы представлены в Таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Выбросы эквивалента CO2 от автобусов и частных транспортных средств.

Выбросы эквивалента CO2 от частных транспортных средств	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
NZE	млн тонн/год	11,27	11,29	9,97	2,43	0,01	0,00
NZE в сравнении с BAU	*%*	*-1,1%*	*-7,1%*	*-20,1%*	*-79,9%*	*-99,9%*	*-100,0%*
BAU	млн тонн/год	11,39	12,16	12,48	12,09	11,86	12,06
Выбросы эквивалента CO2 от автобусного транспорта							
NZE	млн тонн/год	1,68	1,84	2,00	1,97	1,34	0,00
NZE в сравнении с BAU	*%*	*0,2%*	*1,8%*	*3,4%*	*-10,2%*	*-45,5%*	*-100,0%*
BAU	млн тонн/год	1,68	1,81	1,94	2,20	2,46	2,64

Прогнозируемые результаты по годовым объемам загрязнителей воздуха, связанных с транспортным сектором, представлены в таблице 2.5 в разбивке по видам загрязнителей и за отдельные годы. Результаты показывают, что в сценарии NZE к 2060 году выбросы pm2.5 и pm10 сократятся на 99% и 97,2% соответственно по сравнению с BAU, а выбросы NOx сократятся на 84,3%. Такое сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу обусловлено изменением состава парка транспортных средств.

Таблица 2.5 - Загрязнители воздуха от транспорта.

Показатель	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
pm2.5							
NZE	тонна/год	24 107	21 330	16 953	7 105	1 454	195
NZE в сравнении с BAU	*%*	*-0,2%*	*-3,7%*	*-16,4%*	*-57,5%*	*-91,7%*	*-99,0%*
BAU	тонна/год	24 153	22 153	20 282	16 738	17 593	19 560
pm10							
NZE	тонна/год	24 114	21 371	17 031	7 396	1 773	543
NZE в сравнении с BAU	*%*	*-0,2%*	*-3,5%*	*-16,0%*	*-55,8%*	*-89,9%*	*-97,2%*
BAU	тонна/год	24 153	22 153	20 282	16 738	17 593	19 560
NOx							
NZE	тонна/год	105 224	106 715	101 803	53 893	30 762	20 698
NZE в сравнении с BAU	*%*	*-2,0%*	*-11,1%*	*-20,4%*	*-59,1%*	*-76,5%*	*-84,3%*
BAU	тонна/год	107 336	120 042	127 876	131 788	130 628	1314

2.2.4. Внешние факторы, связанные с сектором транспорта

Стоимость дорожно-транспортных происшествий

По прогнозам, общее число дорожно-транспортных происшествий увеличится как в сценарии BAU, так и в сценарии NZE. В сценарии BAU прогнозируется рост общего числа дорожно-транспортных происшествий с 16 100 аварий в год в 2020 году до 25 230 аварий в год в 2060 году. В сценарии NZE общее число ДТП также увеличивается, однако в период с 2025 по 2050 рост меньше, чем в сценарии BAU. Однако к 2060 году общее количество ДТП за год в сценарии NZE увеличится до 26 100 аварий в год, что на 3,5% выше по сравнению с базовым уровнем. Такой рост обусловлен увеличением общего пробега транспортных средств в км по сценарию NZE, что связано с более высоким спросом на мобильность и увеличением парка транспортных средств. Прогнозируемая динамика ДТП в сценариях BAU, GE и DD представлена на рисунке 2.19 в сравнении с историческими данными. Общие совокупные затраты в связи с ДТП в сценариях BAU и NZE прогнозируются на уровне 368,73 млрд долларов США и 369,26 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год соответственно. Это указывает на увеличение на 0,1% (530,57 млн долларов США) общих совокупных затрат в связи с ДТП по сравнению с BAU в течение следующих 40 лет в сценарии NZE.

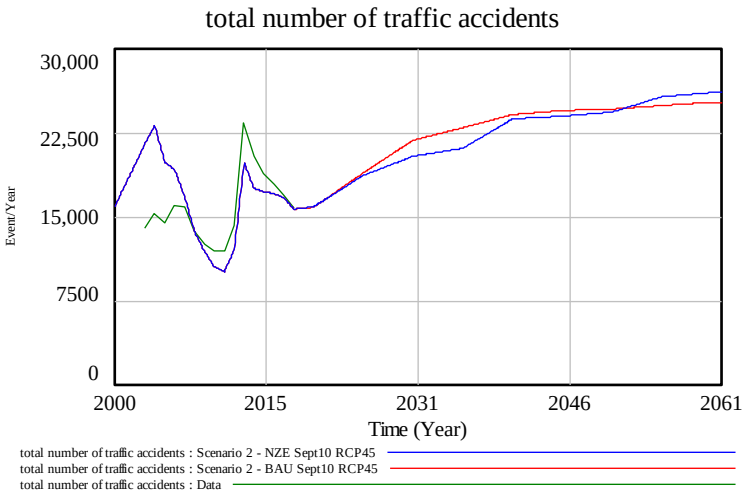


Рисунок 2.19 - Общее количество дорожно-транспортных происшествий.

Стоимость времени, потерянного из-за заторов

Общая стоимость времени, потерянного из-за заторов в сценариях BAU и NZE, представлена на рисунок 2.20. В сценарии BAU стоимость времени, потерянного из-за заторов, увеличивается, что обусловлено увеличением количества транспортных средств и километража, примерно с 2,04 млрд долларов США в 2020 году до 2,77 млрд долларов США в 2060 году. В сценарии NZE стоимость времени, потерянного из-за заторов, увеличивается в период с 2020 по 2060 год из-за роста километража транспортных средств. В 2060 году в сценарии NZE общая стоимость заторов составит примерно 2,91 млрд долларов США в год, что на 5,1% выше, чем в сценарии BAU.

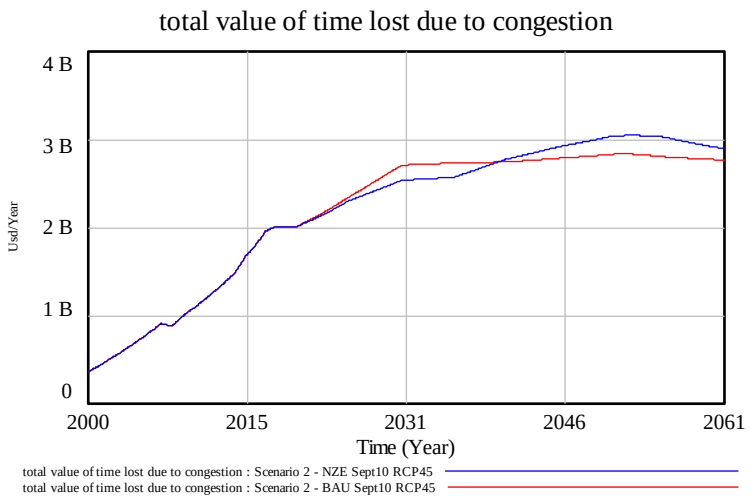


Рисунок 2.20 - Общая стоимость времени, потерянного из-за заторов

Прогноз годовых потерь времени из-за заторов и стоимости времени, потерянного из-за заторов в сценариях BAU и NZE, представлен в Таблице 2.6 за отдельные годы. Переход от поездок на автомобиле на общественный транспорт в сценарии DD способствует временному сокращению на 6,3% общей годовой задержки из-за заторов и связанных с этим затрат к 2030 году, после чего время, проведенное в пробках, превышает уровень BAU. Совокупный объем времени, потерянного из-за заторов в период с 2020 по 2060 год, составляет 22,31 млрд часов в BAU и 22,62 млрд часов в сценарии NZE, что указывает на увеличение совокупного количества времени,

проведенного в заторах, на 1,4% в результате предусмотренных мероприятий. Для сценария NZE это соответствует дополнительным затратам из-за заторов в размере 1,54 млрд долларов США в течение следующих 40 лет, что эквивалентно среднегодовым затратам из-за заторов в размере 38,41 млн долларов США в год в период с 2020 по 2060 год. Совокупная разница довольно мала из-за прогнозируемого сокращения объема поездок в сценарии NZE согласно TIMES в период между 2020 и 2035 годами.

Таблица 2.6 - Время, потерянное в заторах, и стоимость времени, потерянного в заторах

Заторы	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
Ежегодная задержка из-за заторов							
NZE	млн часов в год	414,92	473,92	517,35	567,75	619,02	592,68
NZE в сравнении с BAU	*%*	*-0,2%*	*-2,3%*	*-6,3%*	*1,4%*	*7,2%*	*5,1%*
BAU	млн часов в год	415,68	484,91	552,29	560,05	577,43	564,03
Стоимость времени, потерянного в заторах							
NZE	млрд долл. США/год	2,04	2,33	2,54	2,79	3,04	2,91
NZE в сравнении с BAU	*%*	*-0,2%*	*-2,3%*	*-6,3%*	*1,4%*	*7,2%*	*5,1%*
BAU	млрд долл. США/год	2,04	2,38	2,71	2,75	2,83	2,77

Стоимость респираторных заболеваний

Сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в сценарии NZE способствует снижению затрат на респираторные заболевания относительно сценария BAU. На рисунке 2.21 представлена общая стоимость респираторных заболеваний в связи с транспортом и респираторных заболеваний в связи с автобусным транспортом в разбивке по типу автобуса в сценариях BAU и NZE. В случае с частными транспортными средствами прогнозируется аналогичная тенденция снижения заболеваемости респираторными заболеваниями.

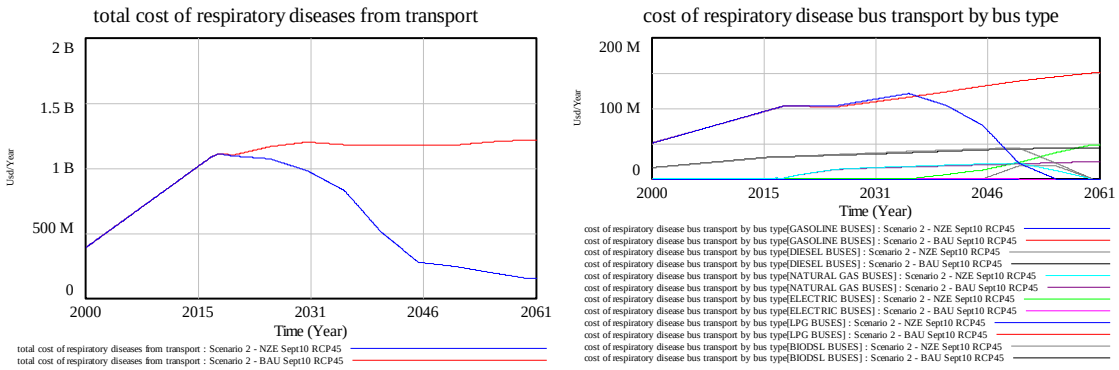


Рисунок 2.21 - Общая стоимость респираторных заболеваний в связи с транспортом и респираторных заболеваний в связи с автобусным транспортом по типам автобусов.

Прогнозируемая общая стоимость загрязнения воздуха для транспортного сектора представлена в таблице 2.7 в разбивке по отдельным годам. Стоимость респираторных заболеваний в сценарии BAU, по прогнозам, увеличится с 1,11 млрд долларов США в 2020 году до 1,22 млрд долларов США к 2060 году, при этом общая совокупная стоимость респираторных заболеваний составит 48,46 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год. В сценарии NZE общая стоимость связанных с транспортом респираторных заболеваний, по прогнозам, снизится до 152,64 млн долларов США к 2060 году, что на 87,5% меньше, чем в BAU. Постепенное снижение стоимости респираторных заболеваний в сценарии NZE в связи с составом парка

автобусов и транспортных средств, приводит к сокращению общих совокупных затрат на 24,58 млрд долларов США, что эквивалентно ежегодной экономии средств в размере 614,46 млн долларов США в год в среднем в период с 2020 по 2060 год.

Таблица 2.7 - Общая стоимость респираторных заболеваний в связи с транспортными средствами и автобусным транспортом.

Показатель	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
Общая стоимость респираторных заболеваний в связи с транспортом							
NZE	млн долл. США в год	1 092,6	1 063,9	966,9	487,0	242,0	152,6
NZE в сравнении с BAU	*%*	*-1,4%*	*-9,1%*	*-19,4%*	*-58,6%*	*-79,5%*	*-87,5%*
BAU	млн долл. США в год	1 108,2	1 170,2	1 199,4	1 176,8	1 180,7	1 218,4

Стоимость шумового загрязнения

Прогнозируемая стоимость шумового загрязнения от транспорта представлена на рисунке 2.22. В сценарии BAU стоимость шумового загрязнения несколько снижается в результате увеличения числа гибридных транспортных средств. В сценарии декарбонизации стоимость шума постоянно снижается за счет модернизации парка транспортных средств и увеличения доли электромобилей в парке.

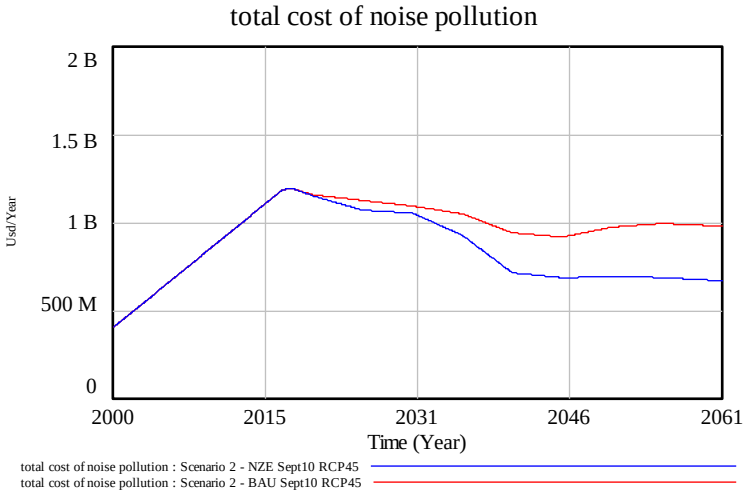
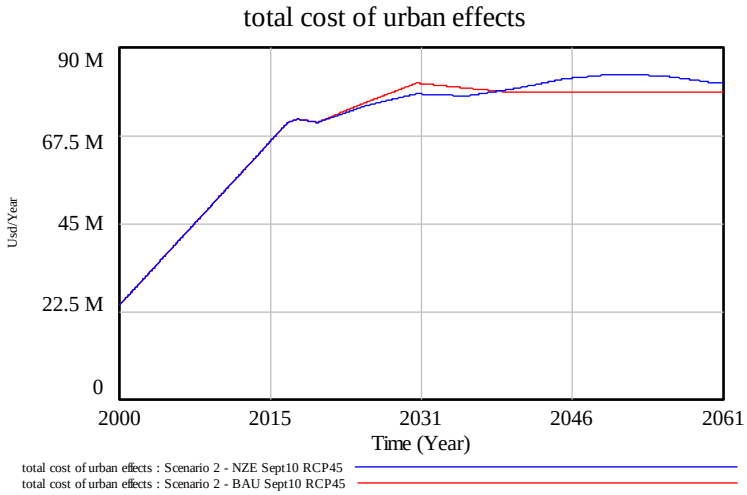


Рисунок 2.22 - Стоимость шумового загрязнения - сценарии BAU и NZE

Стоимость эффектов для города

Стоимость воздействия на город увеличивается во всех трех сценариях пропорционально росту километража по видам транспорта. В сценарии NZE временное снижение издержек от последствий для города вызвано тем, что в период с 2020 по 2035 год наблюдается переход с поездок на личных автомобилях на общественный транспорт. Однако в период с 2035 по 2040 год стоимость воздействия на город возрастает относительно BAU и GE, что обусловлено ростом общего километража в городах. Прогнозируемая динамика стоимости последствий для города представлена на рисунке 2.23.



Рисунке 2.23 - Стоимость воздействия на город

2.2.5. Анализ затрат и выгод в секторе транспорта по сценарию декарбонизации

Экономическая оценка транспортного сектора проведена с помощью комплексного анализа затрат и выгод, в котором учитываются необходимые инвестиции, предотвращенные затраты и дополнительные выгоды от смоделированных вмешательств. Реализация задач, указанных в Таблице 2.2, по прогнозу, потребует чистых дополнительных инвестиций в размере 62,99 млрд долларов США в течение следующих 40 лет в сценарии NZE.

Предотвращенные затраты на здравоохранение, связанные с загрязнением воздуха, значительны и в совокупности составят 24,1 млрд долларов США в сценарии NZE в период с 2020 по 2060 год. Однако, хотя только стоимость заторов и ДТП несколько выше по сравнению с BAU, высокие первоначальные инвестиции в частные транспортные средства и более высокие затраты на электроэнергию перевешивают преимущества, достигнутые на системном уровне. В целом прогнозы указывают на чистые дополнительные социальные издержки в размере 18,93 млрд долларов США в течение следующих 40 лет по сравнению со сценарием BAU.

Таблица 2.7 - Комплексный анализ затрат и выгод в секторе транспорта

Анализ затрат и выгод в секторе транспорта в 2020–2060 гг.	**Единица измерения**	**Сценарий BAU**	**Сценарий NZE**	**NZE в сравнении с BAU**
<u>Инвестиции и затраты</u>				
Дорожная сеть	**млн долл. США**	**168 638**	**168 729**	**91**
Стоимость строительства	млн долл. США	78 604	78 651	47

Расходы на техническое обслуживание	млн долл. США	84 878	84 878	0
Ущерб дорогам в связи с изменением климата	млн долл. США	5 157	5 201	44
Частные транспортные средства	**млн долл. США**	**220 262**	**235 043**	**14 781**
Капитальные вложения	млн долл. США	111 840	159 080	47 241
Затраты на ЭиТО - частный автотранспорт	млн долл. США	43 393	32 495	-10 898
Расход топлива - частный автотранспорт	млн долл. США	65 030	43 467	-21 562
Автобусный транспорт	**млн долл. США**	**37 176**	**85 291**	**48 116**
Капитальные вложения	млн долл. США	6 249	48 522	42 273
Затраты на ЭиТО	млн долл. США	19 503	22 497	2 993
Расход топлива - автобусный транспорт	млн долл. США	11 424	14 273	2 849
(1) Итого инвестиции и затраты	***млн долл. США***	***426 076***	***489 063***	***62 987***
Социальные издержки				
Стоимость дорожно-транспортных происшествий	млн долл. США	367 869	368 275	405
Стоимость времени, потерянного из-за заторов	млн долл. США	109 111	110 581	1 471
Общественная стоимость углерода	млн долл. США	18 088	7 928	-10 160
Стоимость респираторных заболеваний	млн долл. США	48 405	24 313	-24 091
Стоимость других внешних факторов	млн долл. США	57 869	46 212	-11 657

(2) Итого социальные издержки	***млн долл. США***	***601 342***	***557 310***	***-44 032***
<u>Дополнительные выгоды</u>				
Трудовые доходы - дорожное строительство	млн долл. США	5 682	5 683	2
Трудовые доходы - автобусный транспорт	млн долл. США	147	170	23
(3) Общие дополнительные выгоды	***млн долл. США***	***5 829***	***5 853***	*24*
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды	**млн долл. США**	**-1 021 589**	**-1 040 520**	**-18 931**

3. Сектор Отходов

Модель отходов отслеживает потоки отходов (ТБО, сточные воды, отходы сельского хозяйства и животноводства) для анализа результатов нескольких вариантов вмешательства (например, переработка и повторное использование, переработка отходов в энергию, очистка сточных вод, производство органических удобрений) в отношении выбросов парниковых газов, создания рабочих мест и экономической деятельности. Модель была создана для анализа изменений в потоках отходов на национальном уровне с 2000 по 2050 год.

Методология улучшения сбора, переработки и повторного использования отходов и потенциал преобразования отходов в энергию будет соответствовать подходу, изложенному в докладе Европейского банка реконструкции и развития о возможностях биоэнергетики в агропромышленном комплексе Казахстана (EBRD, 2017). В этом отчете представлена информация о текущем использовании биомассы, имеющихся ресурсах для производства биоэнергии и затратах на создание инфраструктуры для производства энергии из отходов. Потенциал повторного использования навоза от домашнего скота будет основываться на изучении кейсов, с возможностью преобразования навоза в удобрения или энергию. Будут проанализированы различные альтернативные технологии управления сточными водами.

В модели был использован биофизический подход, и отслеживались, в первую очередь, потоки материалов. Это позволит проверить допущения об изменении структуры потребления, активизации усилий по сбору, сортировке, хранению, а затем изучить результаты захоронения отходов, сжигания, переработки и повторного использования. Инвестиции, в результате которых будут предотвращены затраты и получены дополнительные выгоды от каждой альтернативной меры, будут определены, оценены и обобщены в анализе

затрат и выгод, который включает социальные, экономические и экологические показатели.

В модели были рассмотрены основные виды отходов, которые образуются в процессе жизнедеятельности человека и дают наибольший выброс неконденсирующихся парниковых газов. Особое внимание уделяется тем видам отходов, разложение которых вызывает выброс в атмосферу углекислого газа (CO2) и метана (CH4), вносящих основной вклад в парниковый эффект.

Сектор отходов представлен на диаграмме причинно-следственной связи на рисунке 3.1. Диаграмма отражает одну из основных динамик сектора отходов (на примере пластмасс) и показывает точки входа для потенциальных политик (оранжевые переменные).

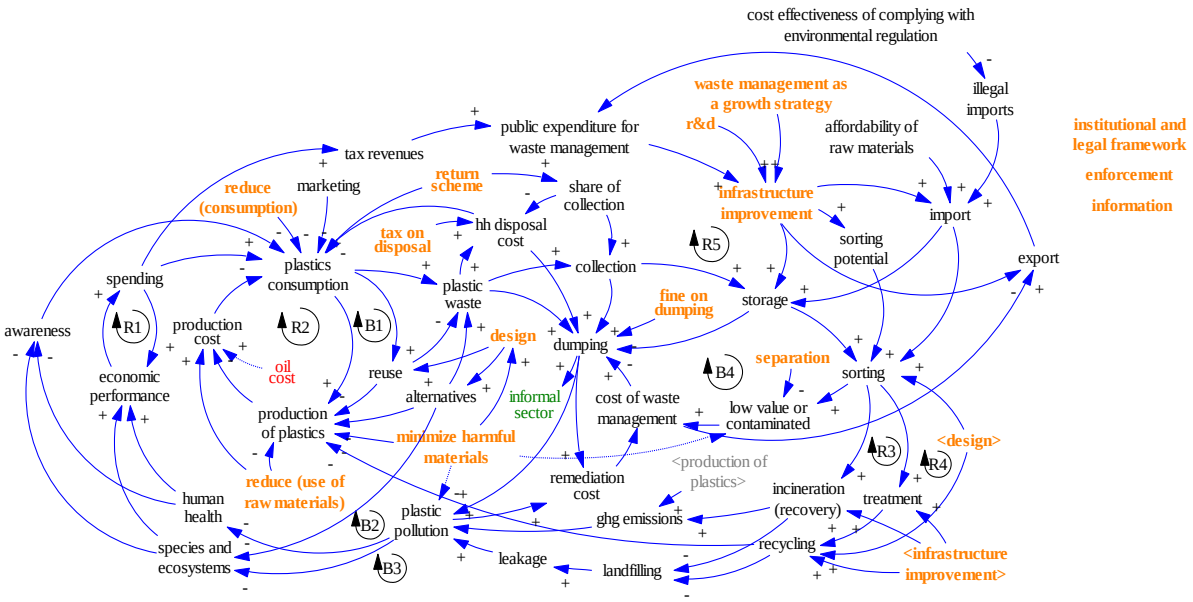


Рисунок 3.1 - Анализ отходов в диаграмме причинно-следственной связи

3.1. Виды рассматриваемых отходов

Основными отходами, являющимися источниками выбросов парниковых газов в Казахстане, являются:

1) Твердые бытовые отходы (ТБО),
2) сточные воды и осадок бытовых и промышленных очистных сооружений,
3) органическая часть сельскохозяйственных отходов,
4) медицинские отходы.

3.1.1. Твердые бытовые отходы (ТБО)

Источниками выбросов парниковых газов являются полигоны ТБО. Твердые отходы, депонируемые на полигонах, под воздействием микрофлоры подвергаются биотермическому анаэробному процессу разложения органических составляющих отходов. В результате этого процесса образуется свалочный газ, в составе которого преобладают метан и углекислый газ.

Выбросы парниковых газов от хранения ТБО неуклонно растут с каждым годом. Основными факторами увеличения объема отходов являются рост численности населения и удельное образование отходов на человека.

Для захоронения ТБО использовалось 3292 полигона, из них 600 (18,26 %) соответствовали экологическим требованиям. Большинство полигонов исчерпали свои ресурсы и требуют рекультивации.

По оценкам, около 37% образующихся ТБО (≈ 2,0 млн тонн в год) могут быть использованы для производства биогаза.

Основными проблемами в сфере сбора, транспортировки и утилизации ТБО являются:

1) отсутствие раздельного сбора ТБО в местах образования и предварительной сортировки перед утилизацией (по итогам 2019 года в республике из 204 городов и районов раздельный сбор на

разных этапах реализован в 51 населенном пункте, а сортировка - в 30 населенных пунктах);

2) Отсутствие достаточного количества и емкости полигонов, оборудованных в соответствии с требованиями законодательства (из 3292 полигонов, действующих в 2019 году, 18,26 % соответствовали экологическим требованиям);
3) Захоронение на полигонах, в первую очередь, основной массы биологически легко разлагаемых отходов,
4) Политика "удержания" низких тарифов без каких-либо государственных субсидий, которая препятствует инвестиционным проектам,
5) Чрезмерные правовые и нормативные требования, выполнение которых требует соответствующей инфраструктуры.

3.1.2. Сточные воды и осадок очистных сооружений

По состоянию на 1 января 2020 года в Казахстане насчитывалось 88 городов с общей численностью населения 10,695 млн чел. (57,4% от общей численности населения). В дополнение к ним есть 14 населенных пунктов без городского статуса с населением от 20 до 55 тысяч жителей в каждом из них (всего 167 911 жителей). Большинство этих городов и приравненных к ним поселков городского типа обеспечены очистными сооружениями сточных вод.

В 2018 году было произведено 668,6 млн м3 сточных вод. Доля очищенных сточных вод составила 86,8 %. В Казахстане действует в общей сложности 187 комплексных очистных сооружений для бытовых сточных вод. Они произвели около 1,337 млн м3 осадка (в пересчете на 20% сухого содержания). Осадок с очистных сооружений сточных вод собирается с последующим захоронением в илонакопителях или на полигонах.

Для производства биогаза с учетом содержания сухого остатка (20%) может быть использовано около 0,267 млн м3. Реальная ситуация намного

сложнее, поскольку часто обезвоживание осадка не проводится и вода, содержащая около 1–2 % осадка, выливается не только в накопители или на полигоны, но и в открытые водоемы, приводя к повышению эвтрофикации.

В настоящее время в Шымкенте действует единственный в Казахстане комплекс по утилизации осадка очистных сооружений, включающий в себя варочные котлы, котельную, газгольдеры, камеру смешения осадка, цех обезвоживания и обеззараживания осадка. При переработке осадка, собранного в процессе очистки сточных вод, производится около 110-140 тыс. м3/сутки (производительность - 150 тыс. м3/сутки), около 500 кВт/ч (4,38 млн кВт/год) "зеленой" электроэнергии и 840 кВт/ч тепловой энергии (7,35 млн кВт/год). Благодаря этому выбросы CO2 в атмосферу сократились на 3,7 тыс. тонн/год.

Основными проблемами при очистке сточных вод, включая удаление осадка, являются:

1) Недостаточная обеспеченность городов и крупных населенных пунктов городского типа очистными сооружениями - в 2016 году в 39 из 102 таких населенных пунктов вообще не было очистных сооружений,
2) Плохое состояние используемых очистных сооружений в целом, поскольку для них часто требуется не только улучшить используемую инфраструктуру, но и пересмотреть метод очистки сточных вод,
3) Отсутствие, за редким исключением, инфраструктуры для обработки и удаления осадка. Это включает в себя не только саму установку по сбору и обезвоживанию осадка, но и места их захоронения - иловые пруды (накопители), полигоны (свалки) и биологические очистные сооружения.

3.1.3. Сельскохозяйственные отходы

Сельскохозяйственные отходы - отходы животноводства и растениеводства, разделенные на следующие группы:

- Навоз,
- Забитый скот,
- Пожнивные остатки,
- Отходы от переработки молочных продуктов,
- Отходы переработки масличных культур.

В таблице 3.1 приведена характеристика состава, количества и доли отходов, которые могут быть использованы для производства биогаза. Состав растительных остатков очень разнообразен. Большая часть этих отходов вместе с навозом и/или осадком очистных сооружений может быть использована в установках анаэробного брожения для производства биогаза. Кроме того, ферментированные отходы можно использовать в качестве удобрения для сельскохозяйственных угодий.

Значительная часть сельскохозяйственных отходов используется для мульчирования почвы, в качестве удобрения, корма для животных и подстилки для скота, а также частично сжигается. Однако большая часть отходов все еще остается неиспользованной. Наиболее перспективным вариантом для этих оставшихся и неиспользованных объемов отходов является преобразование их в биоэнергию для отопления и выработки электроэнергии.

Таблица 3.1 - Состав и количество сельскохозяйственных отходов

Тип отходов	**Объем, тыс. тонн**	**Доля для биологической очистки, тыс. тонн**	
		тыс. тонн	**% от общего**
Навоз	9 211,2	1 337	14,5
Убой скота	500	100	20,0
Пожнивные остатки	35 400	5 100	14,4
Отходы от переработки молочных продуктов	10	4,5	45,0

Отходы от переработки масличных культур	1 100	15	1,4
Итого:	**46 221,2**	**6 556,5**	**14,2**

В Казахстане уже работают четыре крупные биогазовые установки. В 2019 году три биогазовые установки произвели 18 млн кВт-ч или 0,75 % от общей мощности ВИЭ в размере 2,42 МВт (четвертая будет введена в эксплуатацию в 2020 году). На всех биогазовых установках, помимо энергии, образуется осадок, который используется в качестве органического удобрения.

Также растительные остатки используются в качестве топлива в котельных. С 2015 года в Северном Казахстане ведутся работы по установке котлов на биомассе. Установлено 105 котлов. За последние 5 лет 70 учреждений были переведены на отопление такими котлами. В результате они отказались от сжигания 23 000 тонн угля стоимостью 219 миллионов тенге. В 2019 году было установлено еще 10 котлов на биомассе. В регионе есть линия по производству пеллетов. 1,5 тонны льняной соломы эквивалентны 1 тонне угля. В настоящее время налажено производство котлов на биомассе на Петропавловском заводе тяжелого машиностроения (ПЗТМ).

1) Отсутствие национальной инвестиционной программы на государственном уровне для стимулирования использования биомассы и сельскохозяйственных отходов для производства энергии (электроэнергии и тепла),
2) Отсутствие стимулов - грантов и кредитных гарантий - для проектов по переработке биомассы, специально разработанных для заинтересованных сторон сельскохозяйственного сектора,
3) Отсутствие специализированных программ устойчивого сельского хозяйства для перехода на экологически чистую энергию и минимизации отходов, которые будут мотивировать фермеров конвертировать свои системы тепло- и энергоснабжения для

использования сельскохозяйственных отходов и биомассы вместо ископаемого топлива,

4) Низкая стоимость энергоресурсов, что существенно ограничивает возможность продажи полученной энергии даже по себестоимости.

3.1.4. Медицинские отходы

В 2017 году в Казахстане насчитывалось 7 914 организаций здравоохранения (674 государственных и 1150 частных), в том числе 842 больничных организации (671 и 171 государственная и частная соответственно). Общий коечный фонд составил 87 172 единицы. Общая площадь больничных помещений составила 3,8 млн м2. В таблице 3.2 приведена характеристика состава и количества медицинских отходов.

Таблица 3.2 - Состав и количество медицинских отходов

Тип отходов	Количество	Комментарий
Отходы класса А, тонны	121 799,60	Неопасные, например, ТБО
Отходы класса Б, тонны	112 280	Эпидемиологические риски
Отходы класса В, тонны	11 300	Чрезвычайная эпидемиологическая опасность
Отходы класса Г:	0	Токсикологические риски
Всего отходов классов А, Б, В	245 379,6	
Устройства, шт.	24 085,00	
Твердое вещество, кг	5774,30	Нет информации о составе
Жидкость, л	150 00	
Отходы класса Д (радиоактивные), тонны	0,38	Радиоактивные

Отходы утилизировались следующими способами, в % от общего количества отходов групп А, Б, В и Г:

- Отходы коммунально-бытового типа - 49,64 %; утилизируются на полигонах,
- Инфекционные отходы - 50,36 %; обычно сжигаются с использованием маломощных мусоросжигательных установок или, при их отсутствии, больничных котельных, если таковые имеются,
- Радиоактивные отходы - <0,005%; исключая бытовые, инфекционные и радиоактивные отходы - <0,15*10-5%. Для них обеспечивается специальный сбор и надлежащая утилизация.

В 2018 году насчитывалось 159 специализированных мусоросжигательных заводов и 38 адаптированных установок. Данных об объеме сжигаемых отходов нет. Поэтому считается, что все инфекционные отходы сжигаются. Пепел от их сжигания подлежит захоронению на полигонах.

Следует отметить, что информация о составе и количестве медицинских отходов сильно разнится от года к году. Медицинскими отходами в стране занимаются около 200 предприятий, которые не отчитываются о собранных отходах и способах их утилизации. Поэтому необходимы значительные усовершенствования в области учета состава и количества медицинских отходов.

Основными проблемами в области обращения с медицинскими отходами являются:

1) Отсутствие точных и достоверных данных о количестве медицинских отходов, включая систему раздельного сбора медицинских отходов (просроченные лекарства, использованные шприцы и т. д.),
2) Отсутствие системы сертификации (лицензирования) фирм, занимающихся сбором и утилизацией медицинских отходов, включая сжигание медицинских отходов, вследствие чего услуги оказывают некомпетентные или недобросовестные операторы.
3) Неразвитая инфраструктура для сбора, обеззараживания и уничтожения медицинских отходов медицинских учреждений в сельской местности

4) Отсутствие установленного диапазона минимальных и предельных цен на обеззараживание, утилизацию вторичных медицинских ресурсов/отходов, что приводит к демпингу и ненадлежащему выполнению услуг

Общее количество отходов и их вклад в парниковый эффект

Сводная информация о количестве отходов и способе их утилизации приведена в таблице 3.3. Использовались только доступные официальные данные, без каких-либо экспертных оценок.

Рисунок 3.2 и рисунок 3.3 характеризуют структуру некоторых выбросов и их динамику на основе данных Кадастра выбросов парниковых газов. Основными источниками являются ТБО и сельское хозяйство (навоз), на долю которых приходится около ¾ предполагаемого общего объема выбросов. Общий объем выбросов постоянно увеличивается, в основном за счет роста твердых бытовых и сельскохозяйственных отходов.

Таблица 3.3 - Количество отходов в 2018 году

Тип отходов	**Количество, тыс. тонн**	**Способы утилизации**
Твердые бытовые отходы	5 500	69,9 % - захоронение на полигонах. 14,0 % - повторное использование и переработка.
Сточные воды с очистных сооружений	668 600 (тыс. $м^3$)	После очистки сбрасываются в поверхностные водные объекты.
Осадок очистных сооружений сточных вод (20% сухого остатка)	1 337	100% утилизация в иловых прудах и на полигонах (распределение неизвестно).
Сельскохозяйственные отходы	46 221,2	Для мульчирования почвы, в качестве удобрения, корма для животных и подстилки для скота, а также для сжигания. Объемы по видам утилизации неизвестны.

Медицинские отходы	245,38	49,64 % - захоронение на полигонах. 50,36 % - сжигание в специальных или адаптированных мусоросжигательных установках.

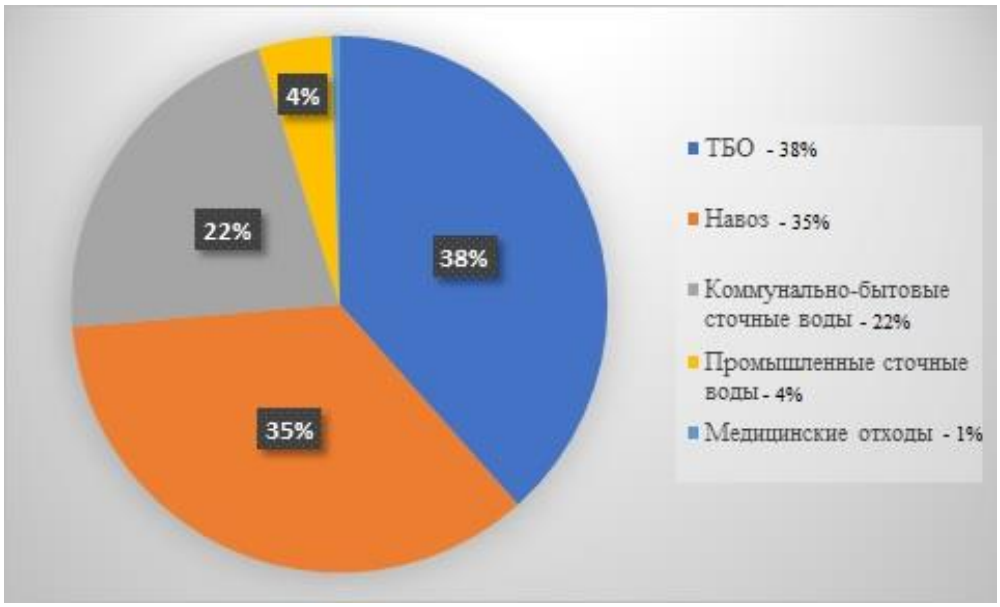


Рисунок 3.2 - Структура выбросов парниковых газов в секторе отходов

38%

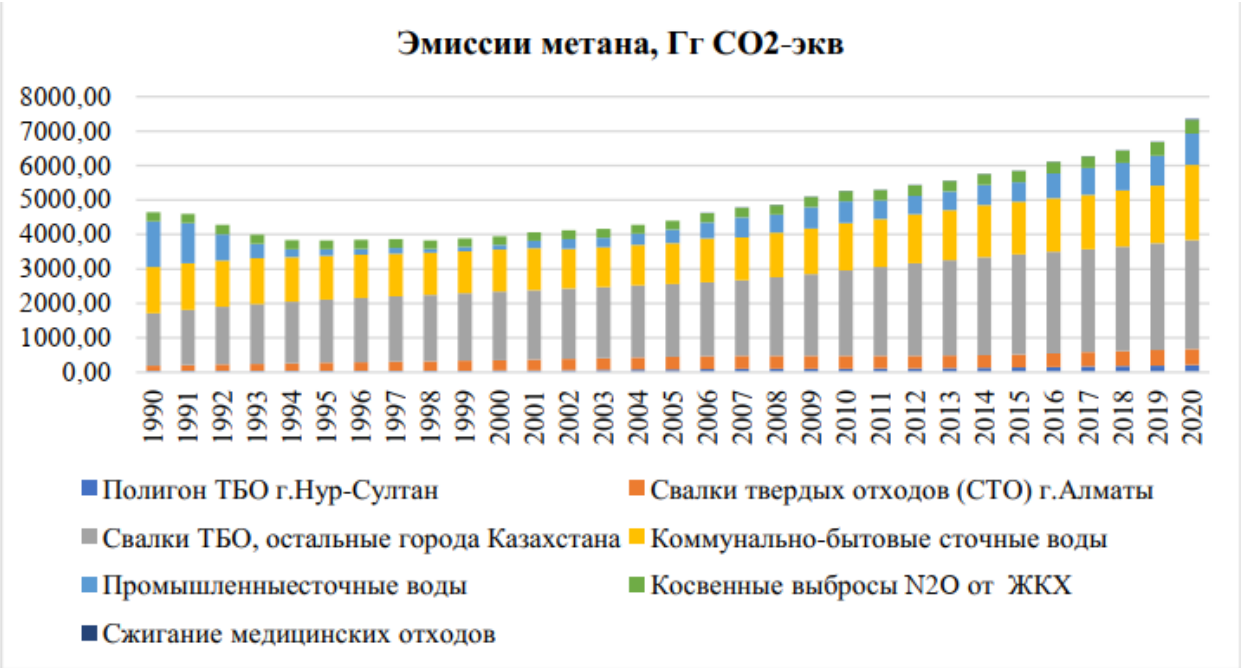


Рисунок 3.3 - Тенденции выбросов парниковых газов в секторе отходов

Приоритизация решения проблем:

- Утилизация ТБО, включая внедрение раздельного сбора и создание сети санитарных полигонов для утилизации остаточных отходов;
- Удаление осадка из очистных сооружений сточных вод;
- Утилизация навоза, не используемого для удобрения полей;
- Утилизация осадка, который не используется для других целей.

Последние три вида отходов можно утилизировать вместе, используя, например, метановые цистерны или другой подход. Тот факт, что это может быть успешно реализовано в Казахстане, подтверждается эффективной и экономически целесообразной работой шымкентских комплексных очистных сооружений сточных вод.

3.2. Методология

Структурная документация модуля отходов содержит обзор расчета потоков отходов, управления ими и связанных с этим затрат. Модуль позволяет анализировать изменения, вызванные политикой в области управления отходами и затрат. Самая последняя версия модели модифицирована таким образом, чтобы обеспечить прямой импорт параметров из электронной таблицы Excel для обеспечения беспрепятственной интеграции параметров и результатов, получаемых из модели TIMES. Это касается следующих переменных:

- Потенциал производства биоэнергии

Импорт данных выполняется с помощью функции GET XLS DATA, благодаря которой Vensim считывает данные из таблицы Excel. Следующее уравнение сформулировано для ввоза автомобилей на бензине старше 10 лет.

TIMES – мощность дополнительной генерации биогаза =
GET XLS DATA('KAZ_TIMES_data import.xlsx' , 'Waste' , 'B1' , 'B5')

Приведенное выше уравнение содержит электронную таблицу, из которой импортируются данные, лист, на котором перечислены соответствующие данные, строку «time», то есть, B1, и первую ячейку импортируемого временного ряда. Использование функций GET XLS DATA позволяет полностью согласовать параметры модели СД с результатами TIMES. Кроме того, этот подход полезен для выполнения нескольких итераций с одними и теми же моделями, где затрагивается множество различных параметров.

Твердые бытовые отходы (ТБО)

Модель ТБО отражает различные потоки отходов в ТБО и подходы к управлению, используемые в настоящее время для сбора, сортировки и переработки ТБО. В модели ТБО рассматриваются следующие потоки отходов:

- Органические отходы
- Бумага
- Пластмассы
- Стекло
- Металлы, и
- Смешанные твердые отходы

В секторе управления отходами существуют различные технологии, и некоторые из них поддерживают линейную модель управления отходами (т. е. от начала до конца), а другие поддерживают переработку и/или повторное использование материалов (т. е. от начала до начала). В модели ТБО учтены следующие процессы и технологии:

- Сбор отходов
- Мусоросортировочные заводы
- Заводы по переработке отходов

- Полигоны
- Сжигание
- Превращение отходов в энергию

Модель будет симулировать различные сценарии вмешательств с определяемыми пользователем целевыми показателями на основе ключевых допущений, таких как скорость переработки или превращение отходов в энергию. Например, модель может быть использована для анализа последствий достижения целевых показателей по переработке биологических отходов (например, 40% к 2040 году и 50% к 2050 году) и результирующего воздействия на создание рабочих мест и выбросы, связанные с управлением отходами, а также последствий для здоровья. Будут смоделированы следующие сценарии (вмешательства), связанные с управлением ТБО:

- Предотвращение образования отходов (сокращение использования одноразовых предметов), запрет на захоронение отходов
- Налогообложение, связанное с отходами, и влияние на удаление отходов
- Улучшенный сбор и сортировка ТБО
- Улучшенная переработка ТБО
- Преобразование отходов в энергию с использованием ТБО в качестве топлива (использование 40% биомассы в ТБО к 2040 году, 50% к 2050 году)

Модель ТБО позволяет анализировать различные сценарии развития событий. Например, увеличение доли вторичной переработки предотвратило бы накопление отходов на полигонах и позволило получить информацию о внутреннем производственном потенциале вторичных материалов. Улучшения в сортировке и переработке отходов могут создать дополнительные рабочие места и смягчить связанные с отходами неблагоприятные социально-экологические последствия, такие как выбросы

парниковых газов, загрязнение частицами и загрязнение воды в результате утечек с полигонов. Кроме того, использование вторичных материалов потенциально снижает производственные затраты производителей и тем самым повышает их конкурентоспособность.

Экономический анализ проводится с использованием комплексного анализа затрат и выгод (СВА). В комплексном СВА обобщены инвестиционные и операционные затраты, связанные с вмешательством, предотвращенные затраты и дополнительные выгоды и, следовательно, он обеспечивает более целостный взгляд на плюсы и минусы каждого варианта вмешательства. В анализе предоставлены совокупные значения для каждого из показателей с учетом срока действия инвестиций и/или продолжительности воздействия. Краткое изложение выходных показателей комплексного анализа затрат и выгод представлено в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Обзор выходных показателей модели ТБО

Категория	**Показатель**
Инвестиционные и операционные затраты	Капитальные вложения
	Затраты на ЭиТО
Предотвращенные затраты	Общественная стоимость углерода
	Стоимость синтетического удобрения
Дополнительные выгоды	Занятость и трудовые доходы
	Получение дохода от производства компоста и пеллетов

В структуре, разработанной для образования твердых бытовых отходов (ТБО), различается государственное и негосударственное управление отходами и содержатся различные варианты управления отходами и соответствующие затраты. Блок-схема на рисунке 3.4 иллюстрирует структуру, разработанную для образования и обработки ТБО.

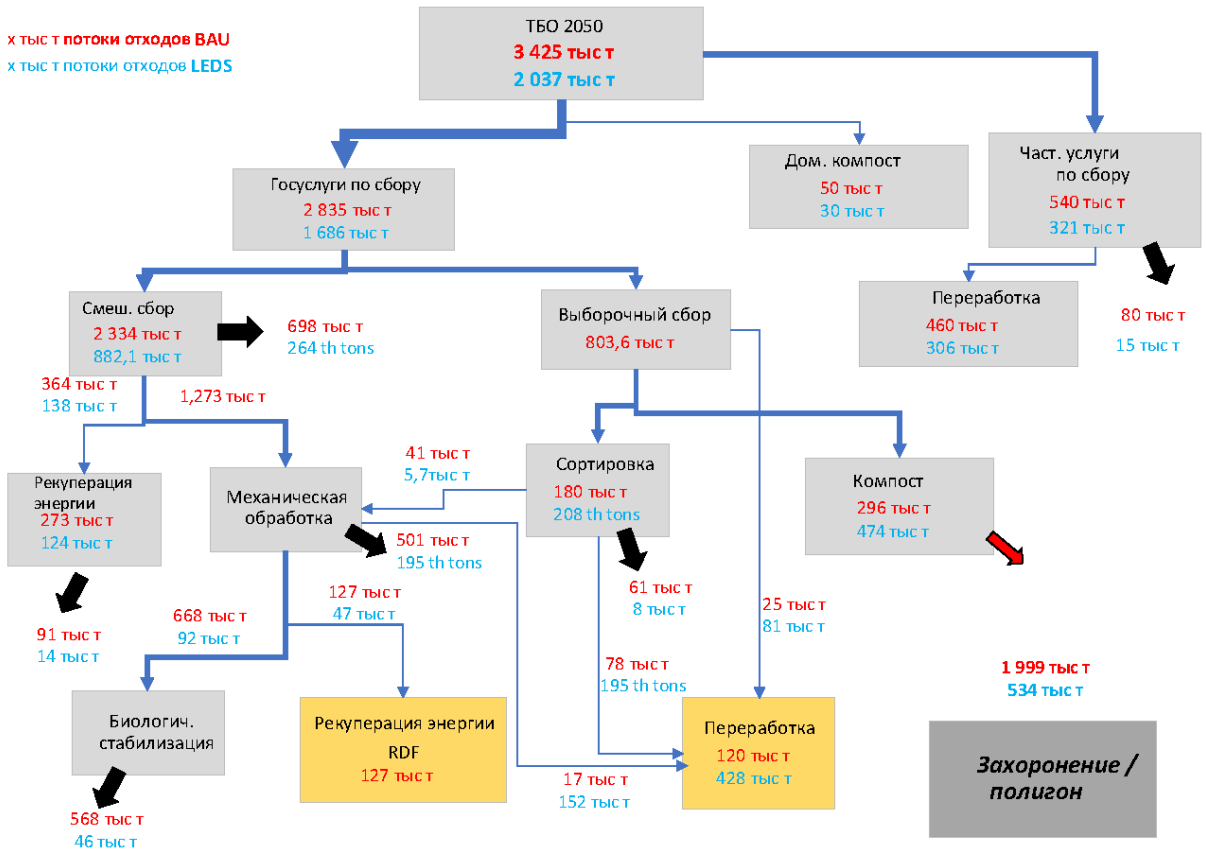


Рисунок 3.4 - Блок-схема обращения с твердыми бытовыми отходами

Образование ТБО рассчитывается на основе общей численности населения и коэффициента образования отходов на душу населения. Приведенное ниже уравнение используется для расчета общего объема образуемых твердых бытовых отходов.

---

*образование твердых бытовых отходов по материалам = население * СОВОКУПНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ ТБО НА ДУШУ НАСЕЛЕНИЯ (Time) * (1 - сокращение ТБО на душу населения в leds)*

Общее количество ТБО впоследствии распределяется по различным этапам обращения с отходами. Технологии управления отходами, рассматриваемые для управления ТБО, отражают потоки отходов, представленные на приведенной выше блок-схеме. Для управления ТБО рассматриваются следующие этапы и технологии управления:

- Сбор отходов (государственные и негосударственные услуги)
- Сортировка отходов

- Рекуперация материалов (переработка)
- Компостирование (бытовое и коммерческое)
- Механическая обработка
- Рекуперация энергии (обычная и топливо из ТБО)
- Биологическая стабилизация
- Полигон, и
- Сжигание

Соответствующие доли подходов к управлению ТБО были разработаны совместно с национальными экспертами по управлению отходами на основе блок-схемы ТБО. Отходы проходят через систему управления отходами и распределяются по различным режимам управления с использованием фракций. Для иллюстрации приводится уравнение для домашнего компостирования ТБО.

домашние компостированные ТБО =
*образование твердых бытовых отходов * доля домашних компостов*

Тот же подход используется для распределения отходов по различным технологиям обработки.

Затраты на управление отходами в части обработки ТБО рассчитываются с использованием соответствующих потоков отходов и допущений о затратах на каждый метод обработки. В таблице 3.5 представлены капитальные и операционные затраты на тонну обработанных отходов для каждого из рассматриваемых методов обработки. Параметры затрат - предварительные, они были получены от экспертов по управлению отходами в Венгрии.

Таблица 3.5 - Обзор затрат на управление отходами в разбивке по видам обработки.

Затраты на управление твердыми коммунально-бытовыми отходами	**Капитальные затраты**	**Затраты на ЭиТО**

Сбор - государственные услуги	*долл. США/т/год*	*долл. США/т/год*
Смешанный сбор	98,2	49,8
Рекуперация энергии	641,8	40,0
Механическая обработка	155,6	32,4
Механическая обработка смешанного сбора	Н/П	Н/П
Механическая обработка остатков выборочного сбора и сортировки	Н/П	Н/П
Стабилизация	161,7	15,4
Рекуперация энергии - топливо из ТБО	Н/П	Н/П
Выборочный сбор	314,7	97,7
Сортировка	64,70	38,11
Переработка (без сортировки)	64,70	38,11
Компостирование	207,9	28,2
Домашнее компостирование	Н/П	Н/П
Сбор - негосударственные услуги	75,5	Н/П
Переработка	Н/П	Н/П
Итого захоронено/депонировано	Н/П	Н/П

Затраты на управление твердыми коммунально-бытовыми отходами

Для анализа воздействия политики на общие инвестиции в управление ТБО и операционные затраты суммируются капитальные и операционные расходы по всем технологиям обращения с ТБО для получения итоговых капитальных затрат и операционных расходов на управление ТБО. Сумма обоих показателей представляет собой общую годовую стоимость управления коммунально-бытовыми отходами. Дерево причинно-следственных связей на рисунок 3.5 иллюстрирует все переменные, используемые для расчета общей годовой стоимости управления ТБО.

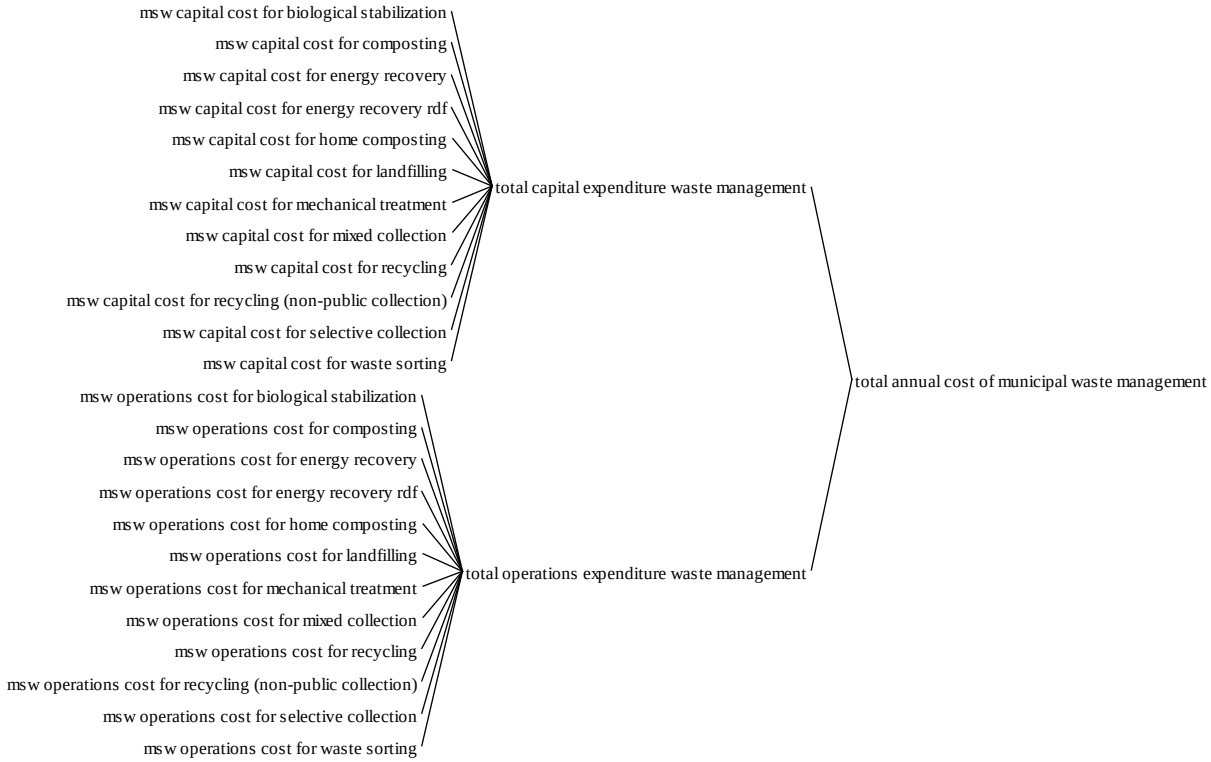


Рисунок 3.5 - Причинно-следственное дерево связей общей годовой стоимости управления коммунально-бытовыми отходами

Наконец, для обеспечения согласованности между различными потоками управления отходами, указанными в национальной статистике, потоки ТБО суммируются следующим образом для получения совокупных потоков:

- Отходы для рекуперации энергии
    - ТБО, используемые для рекуперации энергии
    - ТБО, используемые для рекуперации энергии - топливо из ТБО
- Отходы для рекуперации материалов
    - Переработанные ТБО от механической обработки
    - Переработанные ТБО от негосударственного сбора
    - Переработанные ТБО от сортировки
- Сжигание отходов
    - Нет
- Отходы на полигон
    - Захороненные ТБО от смешанного сбора

- Захороненные ТБО от негосударственного сбора
- Захороненные ТБО от сортировки
- Захороненные ТБО от рекуперации энергии
- Захороненные ТБО от механической обработки
- Захороненные ТБО от биологической стабилизации

- Другие виды управления отходами
  - Компостированные ТБО от выборочного сбора
  - ТБО домашнего компостирования

Занятость в сфере управления отходами

Занятость в сфере обращения с отходами рассчитывается на основе пяти совокупных потоков отходов и соответствующего коэффициента занятости на тонну обработанных отходов для каждого. Дерево причинно-следственных связей на рисунке 3.6 иллюстрирует переменные, используемые для расчета общей занятости в управлении отходами.

Рисунок 3.6 - Причинно-следственное дерево общей занятости в сфере управления отходами

Сточные воды

Модель сточных вод отражает образование и очистку сточных вод, а также осадок, образующийся на очистных сооружениях. Образующийся осадок

считается сырьем для систем производства энергии из отходов для выработки электроэнергии и тепла. В модели рассматриваются следующие технологии:

- Очистка сточных вод (технологии следует выбирать, исходя из реальной инфраструктуры)
    - Физическое удаление
    - Ультрафильтрация
    - Обратный осмос
- Установка по переработке отходов в энергию, биогаз

Модель сточных вод разработана для оценки воздействия использования осадка сточных вод для производства электроэнергии и связанного с этим воздействия на выбросы ПГ, связанные со сточными водами. Анализ основан на следующих сценариях:

- Улучшенная обработка осадка и внедрение биогазовых установок на очистных сооружениях сточных вод

Экономический анализ проводится с использованием комплексного анализа затрат и выгод, где суммируются инвестиционные и операционные затраты, предотвращенные затраты и дополнительные выгоды для каждого из моделируемых вмешательств. В таблице 3.6 предоставлен обзор показателей анализа затрат и выгод.

Таблица 3.6 - Обзор выходных показателей модели обработки осадка

Категория	**Показатель**
Инвестиционные и операционные затраты	Капитальные вложения
	Затраты на ЭиТО
	Необходимые субсидии/стимулы
Предотвращенные затраты	Затраты на энергию
	Выбросы и затраты на здравоохранение
	Общественная стоимость углерода
Дополнительные выгоды	Трудовой доход

	Получение дохода

В модуле образования сточных вод предполагается, что только часть населения подключена к централизованной очистке сточных вод. Образование сточных вод в GEM рассчитывается путем умножения среднего образования сточных вод на душу населения на общую численность населения. Количество сточных вод, подлежащих очистке, рассчитывается как доля от общего объема сточных вод. Доля сточных вод, подлежащих очистке, была получена из национальной статистики.

сточные воды для очистки =

*образование сточных вод * ТАБЛИЦА ДОЛИ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ОЧИСТКИ(Time)*

Модель предполагает, что азотная нагрузка на очистные сооружения зависит от структуры очистки сточных вод, описанной в следующем абзаце. Предполагается, что вся остальная азотная масса, образуемая населением, выбрасывается в окружающую среду без обработки. Численность населения, подключенного к очистным сооружениям, рассчитывается на основе доли населения, подключенного к очистке сточных вод. Азотные массы в сточных водах рассчитываются путем умножения соответствующего количества людей на среднегодовую азотную массу на душу населения.

Дерево причинно-следственных связей на рисунке 3.7 иллюстрирует переменные, используемые для расчета общей годовой азотной нагрузки в сточных водах.

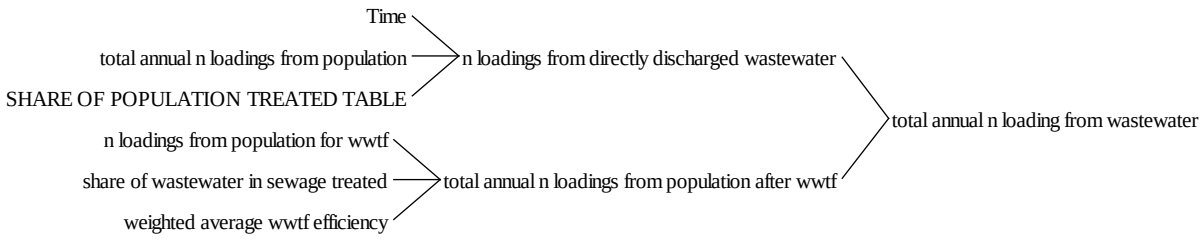


Рисунок 3.7 - Причинно-следственное дерево общей годовой азотной нагрузки из сточных вод

Так как предполагается, что нагрузка от населения, не подключенного к канализации, сбрасывается без обработки, азотные нагрузки от населения после очистки сточных вод рассчитываются на основе азотных нагрузок, поступающих на очистку, доли очищенных сточных вод и эффективности очистных сооружений. Таким образом, общая годовая азотная нагрузка представляет собой общее количество азота из сточных вод (как очищенных, так и неочищенных), которые сбрасываются в поверхностные водные объекты.

---

*общая годовая азотная нагрузка от населения после очистных сооружений = азотная нагрузка на очистные сооружения от населения * доля очищаемых сточных вод в канализации * (1 - средневзвешенная эффективность очистного сооружения) + азотная нагрузка на очистные сооружения от населения * (1 - доля очищаемых сточных вод в канализации)*

Общие ежегодные массы азота из сточных вод используются для оценки общей стоимости выброса азота в окружающую среду. Общая стоимость выброса азота в окружающую среду рассчитывается путем умножения общей годовой массы азота из сточных вод на стоимость за килограмм N, выброшенного в окружающую среду. При делении на общий реальный ВВП общая стоимость выбросов N в окружающую среду дает долю затрат на выбросы азота в общем реальном ВВП.

доля затрат на выброс азота в общем реальном ВВП = ZIDZ (общая стоимость выбросов азота в окружающую среду, реальный ВВП)

Доля выбросов N в общем реальном ВВП используется для оценки влияния очистки сточных вод на общую производительность факторов производства во всех трех производственных секторах, как описано в документации модулей на тему оценки отраслевого и общего ВВП.

Очистка сточных вод

Модуль очистки сточных вод служит для расчета общей мощности очистных сооружений (ОС) и доли очищенных сточных вод. В нем содержится информация об охвате и эффективности очистки сточных вод, а также об азотных массах, которые удаляются из притока сточных вод.

Мощности очистки сточных вод моделируются как запас, который изменяется в зависимости от темпов строительства и износа мощностей по очистке сточных вод. Уравнение запаса можно описать как

Мощности очистки сточных вод $_{t+1}$ =
Мощность очистки сточных вод $_{t0}$ + *коэффициент строительства мощностей ОС* $_{t0}$ - *амортизация ОС* $_{t0}$

Коэффициент строительства мощностей ОС — это расчет разницы между необходимыми и установленными в настоящее время мощностями ОС. В уравнении запаса мощностей ОС интегрирована эта разница в мощности в динамике. В дополнение к этому процессу корректировки, в коэффициенте строительства также учитывается амортизация мощностей, исходя из допущения, что новые мощности будут введены в эксплуатацию, как только текущая мощность достигнет конца своего срока службы.

строительство мощностей ОС =
IF THEN ELSE (требуемая мощность ОС > мощности очистки сточных вод, необходимая корректировка ОС / ВРЕМЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОС + коэффициент замещения ОС, 0)

Функция IF THEN ELSE обеспечивает, чтобы строительство мощностей ОС происходило только в случае нехватки мощностей. Она в основном выполняет функцию MIN, поскольку предотвращает снижение коэффициента строительства, если текущий уровень мощностей ОС превышает требуемый. Норма амортизации мощностей ОС сформулирована как функция задержки, которая предполагает, что мощность будет выведена из эксплуатации после окончания ее запланированного срока службы.

Амортизация ОС =

DELAY FIXED (строительство мощностей ОС, СРЕДНИЙ СРОК СЛУЖБЫ ОС, 0)

Объем очищенных сточных вод определяется как текущий уровень запасов мощностей по очистке сточных вод, поскольку единица мощности задается в литрах в год. Доля очищенных сточных вод и количество неочищенных сточных вод рассчитываются на основе общего объема сточных вод, поступающих от населения на очистку, и количества очищенных сточных вод. Доля очищаемых сточных вод в канализации рассчитывается по следующему уравнению

доля очищаемых сточных вод в канализации =

MIN(ТАБЛИЦА ДОЛИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОЧИСТКУ(Time),ZIDZ(количество очищенных сточных вод, сточных вод на очистку))

Функция MIN выбирает между долей сточных вод на очистку и потенциальной долей очистки сточных вод (сформулированной как обработанные сточные воды, деленные на общее количество сточных вод). Эта формула обеспечивает, чтобы обрабатывались только сточные воды, предназначенные для очистки. Функция ZIDZ, используемая для потенциальной доли очистки, предотвращает ошибку интегрирования в случае деления на ноль, которая произошла бы, если бы количество сточных вод от населения до очистки упало до нуля. Остаточное количество неочищенных сточных вод рассчитывается путем вычета количества очищенных сточных вод, определяемого как мощность очистки сточных вод, из общего количества сточных вод для очистки.

Средняя концентрация азота в сточных водах, сбрасываемых с ОС, зависит от общего объема сточных вод, подлежащих очистке, доли очищенных сточных вод и концентрации N в сточных водах, поступающих на очистные сооружения.

средняя концентрация азота в сточных водах из ОС =

*концентрация азота в сточных водах для ОС * (1 - доля очищаемых сточных вод в*

*канализации) + концентрация азота очищенных сточных вод из ОС * доля очищаемых сточных вод в канализации*

Она рассчитывается как средневзвешенное значение между концентрацией N в неочищенной воде (например, в случае нехватки мощностей или отключения электроэнергии) и концентрацией в очищенных сточных водах, которая зависит от концентрации N в притоке сточных вод и эффективности удаления азота мощностями ОС.

концентрация азота в очищенных сточных водах от ОС =
*концентрация азота в сточных водах для ОС * (1 - средневзвешенная эффективность ОС)*

Затем общая азотная нагрузка в очищенных сточных водах рассчитывается путем умножения общего количества сточных вод, поступающих на очистные сооружения, на средневзвешенную концентрацию N в очищенных сточных водах в результате очистки сточных вод.

общая азотная нагрузка в очищенных сточных водах =
*общие сточные воды от населения до очистки * средняя концентрация азота в сточных водах от ОС*

Модель дополнительно вычисляет количество осадка, образующегося при очистке сточных вод на муниципальных очистных сооружениях. Образование осадка рассчитывается с помощью технологии очистки сточных вод через приведенное ниже уравнение.

образование осадка из сточных вод по технологии [ОС] =
(количество очищенных сточных вод ФРАКЦИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОС[ОС]) * СРЕДНЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ ОСАДКА ПО ТЕХНОЛОГИИ[ОС] / (1 - сокращение образования сточных вод в leds) /КГ НА ТОННУ*

Общий осадок, образующийся в результате очистки сточных вод, впоследствии рассчитывается как сумма осадка, образующегося при различных технологиях очистки. Общее количество образующегося осадка используется для расчета выбросов парниковых газов, связанных со сточными

водами, и для оценки потенциала производства биоэнергии из осадка, как показано в дереве использования на рисунке 3.8.

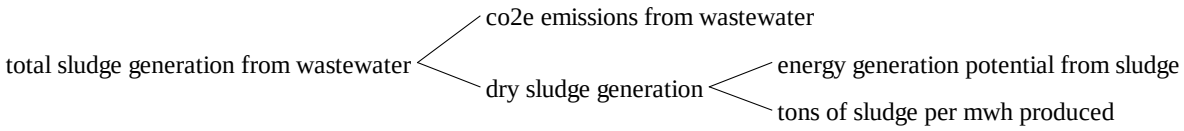


Рисунок 3.8 - Дерево использования - общее образование осадка из сточных вод

Образование сухого осадка рассчитывается путем умножения общего образования осадка на долю сухого содержания в осадке. В GEM сухой осадок служит для оценки потенциала выработки энергии из осадка, что указывает на общую выработку электроэнергии, которую можно было бы реализовать, если бы весь осадок использовался для выработки электроэнергии.

потенциал выработки энергии из осадка =
*выработка сухого осадка * среднее содержание энергии на тонну сухого осадка /ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КВТ В МВТ*

Необходимая мощность для реализации потенциала выработки энергии из осадка рассчитывается на основе имеющегося потенциала выработки энергии, что соответствует общему потенциалу выработки энергии за вычетом количества энергии, которая уже вырабатывается в результате использования осадка, коэффициента полезного действия биогазовых установок и количества часов в год.

необходимая мощность для реализации потенциала выработки энергии из осадка = имеющийся потенциал выработки энергии из осадка/КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ/часы в год

Сельскохозяйственные отходы

Модель сельскохозяйственных отходов отражает потоки сельскохозяйственных отходов и их потенциал для выработки энергии и

производства удобрений. В этой модели учитываются следующие потоки сельскохозяйственных отходов:

- Навоз
- Пожнивные остатки

Перечисленные выше ресурсы будут использоваться для производства биоэнергии в реакторах или комбинированных теплоэлектростанциях. Что касается потенциала производства энергии, исследование Организации Объединенных Наций показывает, что сельскохозяйственные отходы обеспечат 258 МВт топлива в Акмолинской области, 244 МВт топлива в Костанайской области и 122 МВт топлива в Восточно-Казахстанской области. Более подробная оценка имеющегося потенциала для производства биоэнергии представлена Европейским банком реконструкции и развития в разбивке по регионам (EBRD, 2017).

Для реализации планируемого анализа в модели рассматриваются следующие технологии переработки (или управления) потоков сельскохозяйственных отходов:

- Заводы по производству удобрений на основе навоза
- Превращение отходов в энергию
- Сжигание сельскохозяйственных отходов на котельных установках
- Производство биогаза из сельскохозяйственных отходов
- Биогаз для производства тепла и электроэнергии

Модель симулирует производство удобрений и биоэнергии на основе отходов сельского хозяйства и связанные с этим воздействия на ключевые показатели сектора отходов, включая внешние эффекты, связанные с отходами. Эти мероприятия обладают значительным потенциалом для создания рабочих мест и получения доходов при одновременном снижении нагрузки на окружающую среду. В случае производства удобрений на основе навоза, навоз собирается и используется в производственных целях, что

смягчает негативное воздействие избыточной нагрузки питательных веществ, поступающих в окружающую среду, и потерь почвы. Продуктивное использование навоза также сократит выбросы N2O из навоза, который в итоге окажется на пастбищах или в системах хранения и использования навоза. Производство биоэнергии из потоков сельскохозяйственных отходов уменьшает количество биомассы, захороненной на полигонах, и, следовательно, выбросы ПГ, связанные с разложением органических материалов в анаэробной среде (например, выбросы CH4).

Экономический анализ проводится в форме комплексного анализа затрат и выгод, который суммирует необходимые инвестиционные и операционные затраты, предотвращенные затраты и дополнительные выгоды для всех сценариев. В таблице 3.7 обобщены показатели, включенные в комплексный анализ затрат и выгод.

Таблица 3.7 - Обзор выходных показателей модели сельскохозяйственных отходов.

Категория	**Показатель**
Инвестиционные и операционные затраты	Капитальные вложения
	Затраты на ЭиТО
	Необходимые субсидии/стимулы
Предотвращенные затраты	Затраты на энергию
	Общественная стоимость углерода
	Затраты на управление питательными веществами
	Стоимость химических удобрений
Дополнительные выгоды	Трудовой доход
	Получение дохода

Навоз

Потенциал производства удобрений в GEM оценивается на основе общего образования навоза по категориям скота. Дерево причинно-следственных связей на рисунке 3.9 иллюстрирует источники вкладов в общий

объем собранного навоза. Образуемый навоз по категориям скота рассчитывается путем умножения количества голов (по категориям) на соответствующий годовой объем навоза и фракцию собранного навоза. Для иллюстрации приведен расчет образования навоза от свиней.

образование навоза от свиней =

*свиньи * объем навоза свиней * ФРАКЦИЯ СОБРАННОГО НАВОЗА*

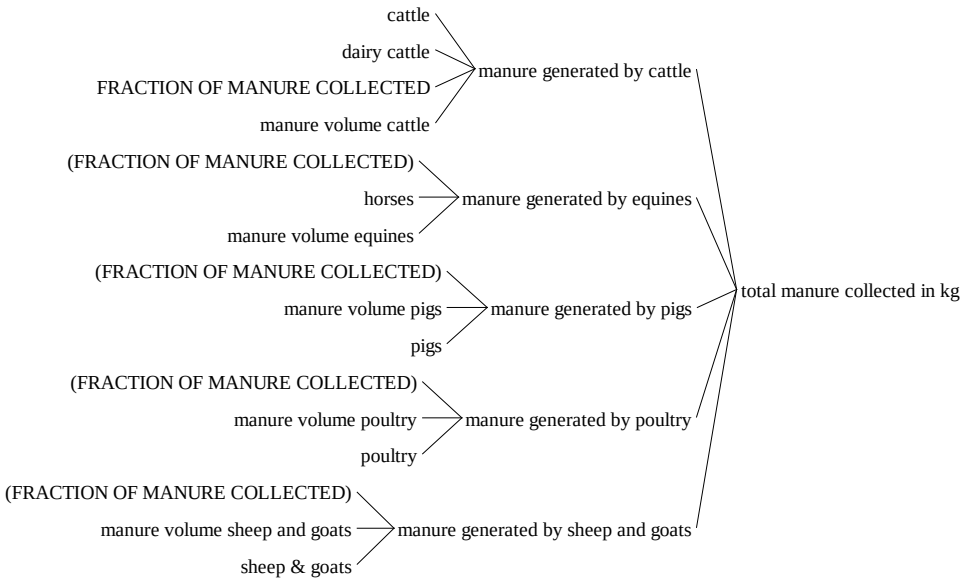


Рисунок 3.9 - Причинно-следственное дерево общего количества собранного навоза

Образующийся навоз служит двум целям: производству пеллетов удобрений на основе компоста и навоза и оценке потенциала производства энергии из навоза (производство биогаза).

В GEM используется тот же подход для расчета производства компоста и пеллетов на основе навоза. Для иллюстрации приведено описание структуры оценки пеллетов на основе навоза. Потенциал производства пеллетов основан на общем объеме собранного навоза и доле навоза, высушенного для производства пеллетов. Высушенный навоз, умноженный на выход пеллетов, дает общее количество произведенных пеллетов. На рисунке 3.10

представлены переменные, используемые для расчета общего количества произведенных пеллетов.

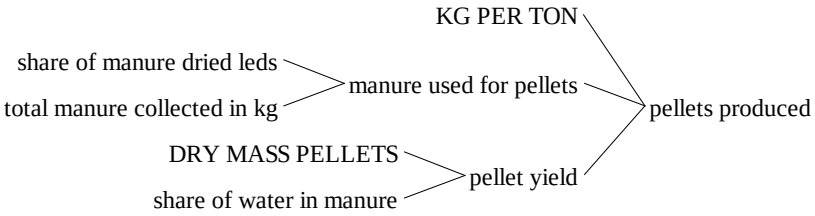


Рисунок 3.10 - Причинно-следственное дерево производства пеллетов на основе навоза

Количество произведенных пеллетов служит для расчета прибыли от продажи пеллетов, которая рассчитывается как разница между затратами на производство пеллетов и выручкой от их продажи. И себестоимость, и доходы рассчитываются путем умножения количества проданных пеллетов на среднюю себестоимость и цену продажи за тонну пеллетов соответственно. Кроме того, количество произведенных пеллетов также служит для оценки количества химического удобрения, которое может быть заменено применением пеллетов. Таким образом, предотвращенное использование удобрений при замене на пеллеты эквивалентно количеству пеллетов, умноженному на единицу минус доля проданных пеллетов. Чистые выгоды от местного производства и использования пеллетов рассчитываются как сумма прибыли (чистой выручки) от продажи пеллетов и предотвращенных затрат на использование удобрений за счет замены на пеллеты.

чистая выгода от производства пеллетов =
чистая выручка от производства пеллетов + предотвращенные затраты на удобрения за счет пеллетов

Потенциал производства энергии из навоза оценивается путем умножения количества навоза по категориям скота на соответствующий множитель энергоемкости. Например, потенциал выработки энергии от крупного рогатого скота рассчитывается путем умножения общего количества

навоза на среднюю энергоемкость на тонну навоза крупного рогатого скота. Дерево причинно-следственных связей на рисунке 3.11 иллюстрирует переменные, используемые для расчета общего потенциала выработки электроэнергии из навоза.

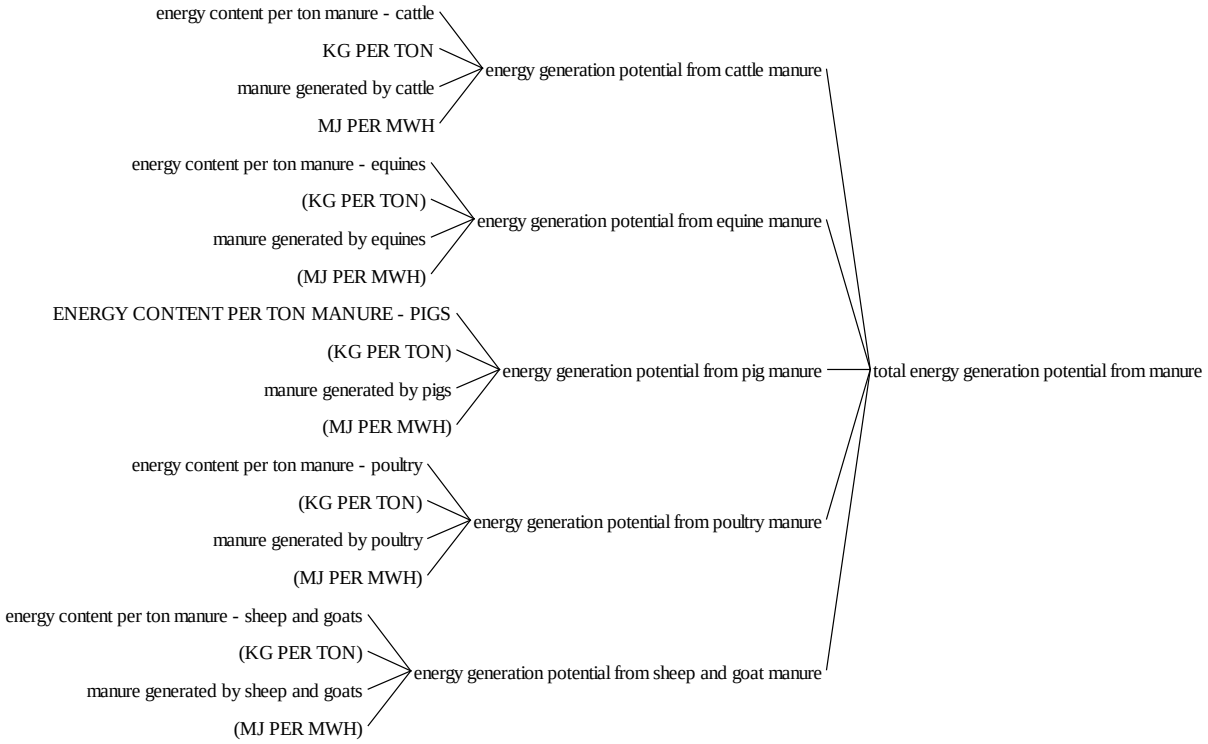


Рисунок 3.11 - Причинно-следственное дерево общего потенциала выработки электроэнергии из навоза

Необходимая мощность для реализации потенциала производства энергии из навоза впоследствии рассчитывается путем деления общего потенциала выработки энергии из навоза на эффективность биогазовых установок и количество часов в год.

Примечание: чтобы избежать переоценки выгод или выработки из навоза, в модели используются фракции, которые распределяют навоз по трем различным видам использования (компост, пеллеты и энергия). Во всех сценариях эти три фракции суммируются в одну, что эквивалентно общему количеству имеющегося навоза.

Остаточные отходы сельского хозяйства

GEM оценивает два типа остатков сельскохозяйственного производства, которые считаются приемлемыми для производства биоэнергии, – пожнивные остатки и остатки убоя скота. Пожнивные остатки рассчитываются на основе общего объема сельскохозяйственного производства по всем четырем зонам из модуля сельского хозяйства и отношения остатков к сельскохозяйственному производству.

---

*пожнивные остатки сельскохозяйственного производства [типы культур] = SUM(общее сельскохозяйственное производство по культурам [зона страны!, типы культур]) * ОТНОШЕНИЕ ОСТАТКОВ К СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМУ ПРОИЗВОДСТВУ[типы культур]*

Сумма всех растительных остатков, умноженная на теплотворную способность на тонну растительных остатков, дает потенциал выработки энергии из пожнивных остатков.

потенциал выработки энергии из пожнивных остатков = SUM (пожнивные остатки сельскохозяйственного производства [типы культур!]) теплотворная способность пожнивных остатков в МВтч на тонну*

Как и в случае с навозом и осадком, необходимая мощность для выработки биоэнергии из пожнивных остатков рассчитывается путем деления общего потенциала производства энергии на коэффициент эффективности биогазовых установок и количество часов в год.

Остатки убоя и соответствующее производство энергии оцениваются на основе общего поголовья скота, остатки которого считаются пригодными для выработки энергии. В этом случае остатки убоя крупного рогатого скота, свиней и домашней птицы составляют общие ежегодные остатки убоя для выработки биоэнергии (см. дерево причинно-следственных связей рисунок 3.12 ниже).

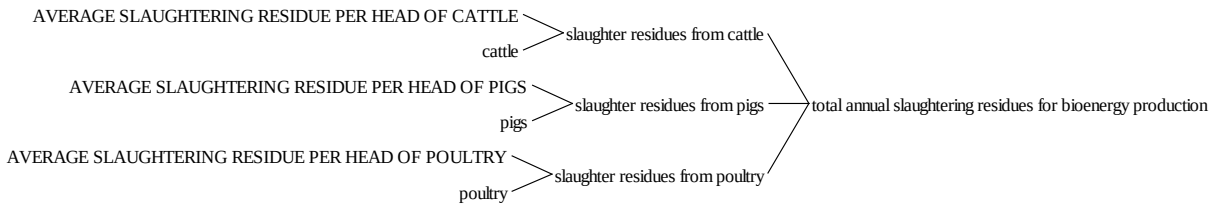


Рисунок 3.12 - Причинно-следственное дерево общих годовых остатков убоя для производства биоэнергии

Общий потенциал производства энергии из остатков убоя рассчитывается путем умножения количества остатков убоя на средний потенциал производства энергии на тонну, как показано в приведенном ниже уравнении.

общий потенциал производства энергии из остатков убоя=
общий годовой объем остатков убоя для производства биоэнергии СРЕДНИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ НА ТОННУ ОСТАТКОВ УБОЯ*

Общий потенциал выработки энергии из отходов убоя скота впоследствии делится на коэффициент полезного действия биогазовых установок и количество часов в год для получения общей требуемой мощности для реализации выработки энергии на основе отходов убоя.

Сумма требуемой мощности для каждого из потоков остатков составляет общий потенциал производства биоэнергии, который выражается в МВт мощности. В дереве причинно-следственных связей на рисунке 3.13 обобщены четыре источника оценки потенциала производства биоэнергии на страновом уровне.

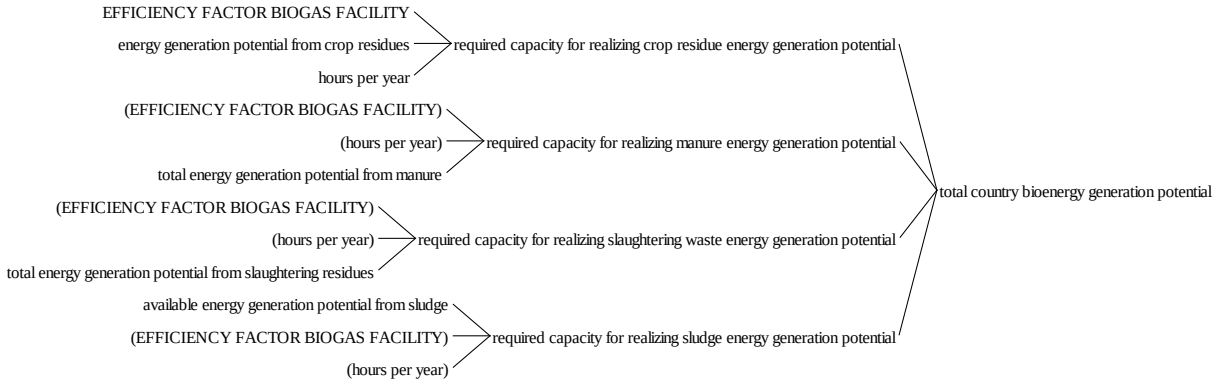


Рисунок 3.13 - Общий потенциал производства биоэнергии в стране (в МВт)

Дополнительные мощности по производству биогаза и генерации

Этот модуль позволяет моделировать различные сценарии, в которых частично или полностью реализуется потенциал производства биоэнергии, описанный в предыдущих разделах. Другими словами, этот модуль позволяет проводить политический анализ выгод, связанных с созданием дополнительных мощностей по производству биоэнергии, в частности выработке электроэнергии и тепла. Предполагается, что часть прогнозируемого потенциала производства биоэнергии может быть реализована за счет установки мощностей по производству биоэнергии. В модуле производства биоэнергии модель прогнозирует установку мощностей, а также связанные с этим затраты (т. е. капитальные затраты, эксплуатация и техническое обслуживание) и занятость (например, строительство, эксплуатация и техническое обслуживание).

Однако для получения результатов, представленных в этом отчете, дополнительные мощности по производству биогаза, установленные в сценариях GE и DD, основаны на результатах TIMES для дополнительных мощностей по производству биоэнергии. Поскольку инвестиционные и операционные затраты, а также доходы отражены в TIMES, модель СД используется для прогнозирования занятости, связанной со строительством и обслуживанием дополнительных биоэнергетических мощностей. Дерево

использования на рисунке 3.14 иллюстрирует дерево причинно-следственных связей занятости за счет биоэнергетического потенциала.

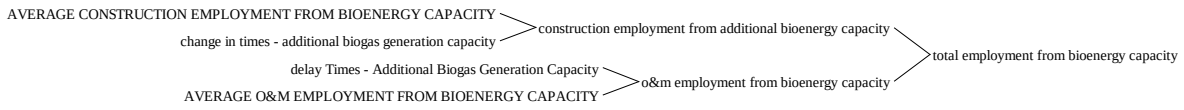


Рисунок 3.14 - Причинно-следственное дерево занятости за счет мощностей по производству биогаза

3.3. Описание результатов в сценарии декарбонизации в секторе отходов

Декарбонизация сектора отходов сосредоточена на сценариях, учитывающих влияние нормативных актов на потоки отходов и связанные с ними затраты на управление отходами, а также выбросы от отходов. В трех сценариях рассматриваются все более амбициозные задачи в области управления отходами. Базовая траектория была разработана экспертами по управлению отходами, и она отражает их ожидания относительно развития казахстанского сектора управления отходами в будущем. Таблица 3.8 представляет обобщенный обзор допущений для симуляции сектора управления отходами в сценариях BAU и NZE. Фракции определяются на основе потоков материалов, при этом есть исключения, например, для переработки, которая, как предполагается, не применяется к потокам органических и других отходов.

Таблица 3.8 - Допущения сценария BAU и NZE для сектора управления отходами на 2060 год

Мера	**BAU**	**Сценарий декарбонизации**

Образование сточных вод	0%	-40%
Стоимость технологии	-20%	-40%
ТБО		
Образование отходов на душу населения	0%	-40%
Сбор отходов (выборочный)	100% (в 2050 году)	100% (с 2040 года)
Управление отходами		
Переработка*	55%	85%
Рекуперация энергии из отходов**	33,5%	25,1%
Захоронение	Остаточные	Остаточные
Компостирование***	15%	70%
Навоз		
Удобрение - навоз	0%	33%
Навоз для производства биогаза	0%	33%
Навоз для производства пеллетов	0%	33%
Сточные воды		
Очистка осадка сточных вод (биогаз)	Никаких изменений	40%
* Органические отходы и другие отходы исключаются из переработки ** Рекуперация энергии и компостирование конкурируют, в результате чего приоритет отдается компостированию, выбросы от которого ниже, чем от рекуперации энергии ** Компостирование предполагается только для органических отходов		

3.3.1. Образование и сбор отходов

Во всех сценариях общее образование ТБО, по прогнозам, увеличится с 6,01 млн тонн в год в 2020 году до 8,32 млн тонн в год в 2060 году. Как указано

в таблице 3.8, доля собираемых отходов в BAU увеличивается до 100% в 2050 году, а сбор ТБО в сценарии NZE увеличивается до 100 % к 2040 году. Сокращение образования отходов на душу населения приводит к снижению общего объема отходов, образующихся в сценарии NZE, при этом в 2060 году будет произведено около 5,39 млн тонн ТБО, что на 35,3 % ниже по сравнению со сценарием BAU. Это снижение образования отходов в сценарии NZE приводит к тому, что общее количество отходов, собранных в BAU, на протяжении всего моделирования выше по сравнению со сценарием NZE. Прогнозируемая динамика образования и сбора ТБО в сценариях BAU и NZE представлена на рисунке 3.15.

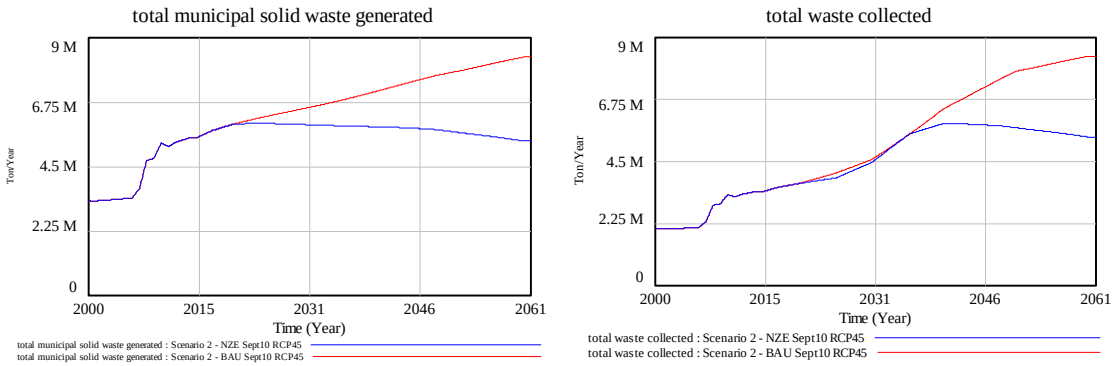


Рисунок 3.15 - Общее количество образованных и собранных ТБО

В дополнение к ТБО модель оценивает пожнивные остатки, остатки убоя скота, образование навоза и осадка на уровне страны. Вышеуказанные категории включены для оценки общего потенциала производства биоэнергии на уровне страны.

3.3.2. Остатки сельскохозяйственного производства

Общее количество пожнивных остатков, остатков убоя и навоза основано на докладе ЕБРР о биоэнергетическом потенциале (2017). Прогнозы общего количества пожнивных остатков и отходов убоя для производства биоэнергии представлены на рисунке 3.16. Общий объем имеющихся

пожнивных остатков увеличивается примерно с 5,47 миллионов тонн в 2020 году до 8,3 млн тонн к 2060 году в сценарии BAU. Дополнительное производство сельскохозяйственных культур за счет органического земледелия и сокращения предуборочных потерь способствуют росту объема доступных остатков в сценарии NZE. К 2060 году производство остатков в сценарии NZE прогнозируется на уровне 15,59 млн тонн в год, что на 87,8% выше по сравнению со сценарием BAU. Объемы остатков убоя, по прогнозам, возрастут со 151 700 тонн в год в 2020 году до 283 720 тонн в год в 2060 году для обоих сценариев.

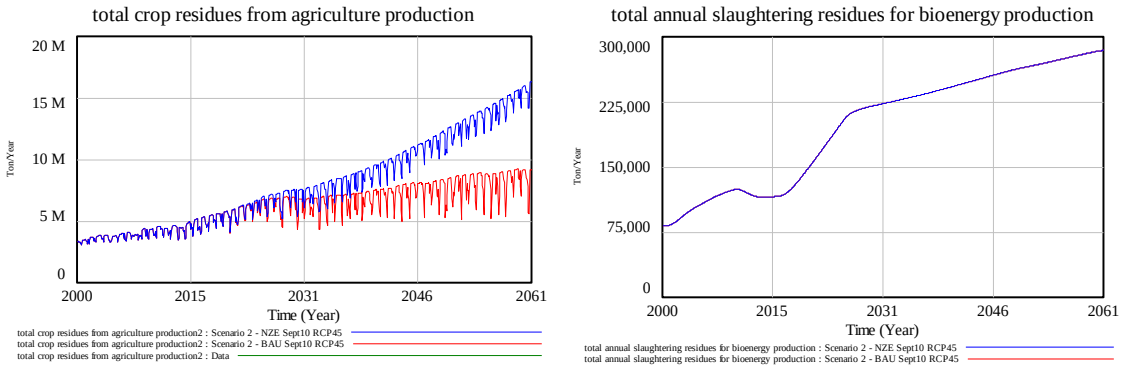


Рисунок 3.16 - Пожнивные остатки (слева) и остатки убоя скота (справа), доступные для производства биоэнергии

Общий объем навоза, потенциально доступный для производства биоэнергии, представлен на рисунке 3.17. Общий потенциал повторного использования навоза увеличивается примерно с 12,15 млн тонн в 2020 году до 21,62 млн тонн в 2060 году по сценариям BAU и NZE. В BAU доступно 17% от предполагаемого количества навоза, что указывает на общее наличие 2,06 млн тонн в 2020 году и 3,68 млн тонн к 2060 году. В сценарии NZE предполагается, что 51% навоза будет собираться к 2050 году и затем данный объем останется неизменным. По сравнению с BAU это увеличивает доступное для повторного использования количество навоза до 11,03 млн тонн к 2060 году. По сравнению со сценарием BAU, количество собранного навоза в 2060 году увеличится на 200%.

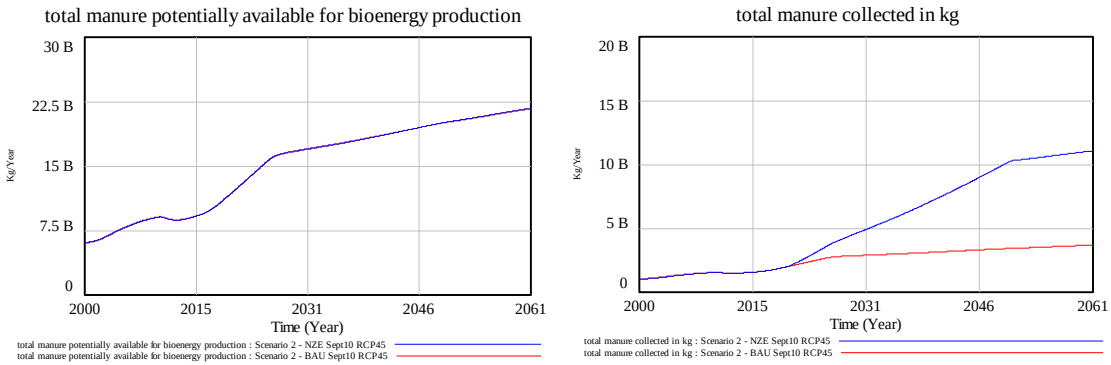


Рисунок 3.17 - Образование навоза и навоз, собранный для повторного использования.

3.3.3. Образование сточных вод и осадка

Дополнительные мероприятия направлены на вопросы образования сточных вод и повторного использования осадка. Общее образование сточных вод и образование осадка из сточных вод представлены на рисунке 3.18. В сценарии BAU общее образование сточных вод увеличивается с 690 млн м3 в год в 2020 году до 954 млн м3 в год в 2060 году. Сокращение образования сточных вод, предполагаемое для сценария NZE, способствует снижению общей годовой нагрузки сточных вод на 40% в 2060 году. Образование осадка зависит от общего количества твердых частиц, поступающих в потоки сточных вод. Количество твердых частиц предполагается одинаковым во всех сценариях, что указывает на то, что изменяется только количество сточных вод, но не количество образующегося осадка.

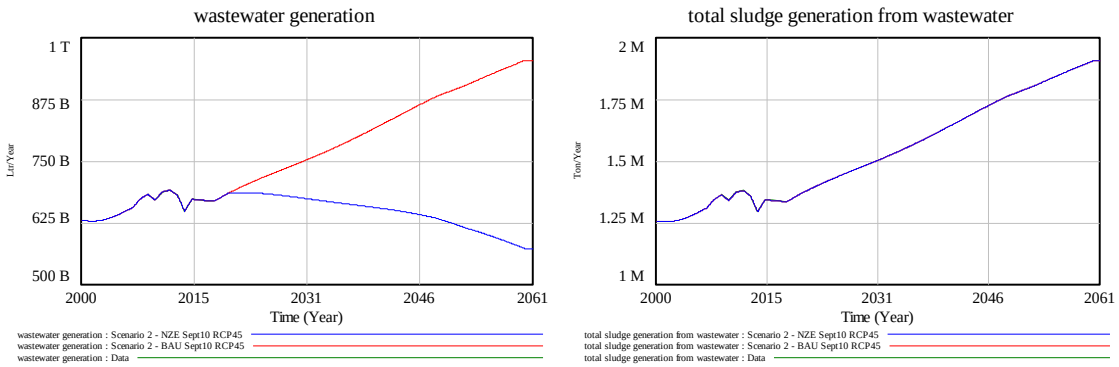


Рисунок 3.18 - Общее образование сточных вод и образование осадка из сточных вод

3.3.4. Управление отходами и очистка сточных вод

В управлении ТБО выделяются различные варианты обработки для оценки воздействия политики управления отходами на затраты и выбросы, связанные с управлением отходами. Прогнозируется, что фракции управления ТБО изменят потоки отходов в сценарии NZE относительно базового уровня. Рисунок 3.19 иллюстрирует процент отходов, которые утилизируются посредством конкретного режима управления как в сценарии BAU, так и в сценарии NZE. Эти доли дают информацию об общем объеме, который утилизируется посредством того или иного режима. Например, в сценарии NZE наблюдается резкое увеличение количества отходов, утилизируемых для рекуперации энергии (нижний правый график), компостирования (нижний левый график) и переработки отходов (верхний правый график), сопровождающееся резким снижением процента захоронения отходов (верхний левый график) в обоих сценариях.

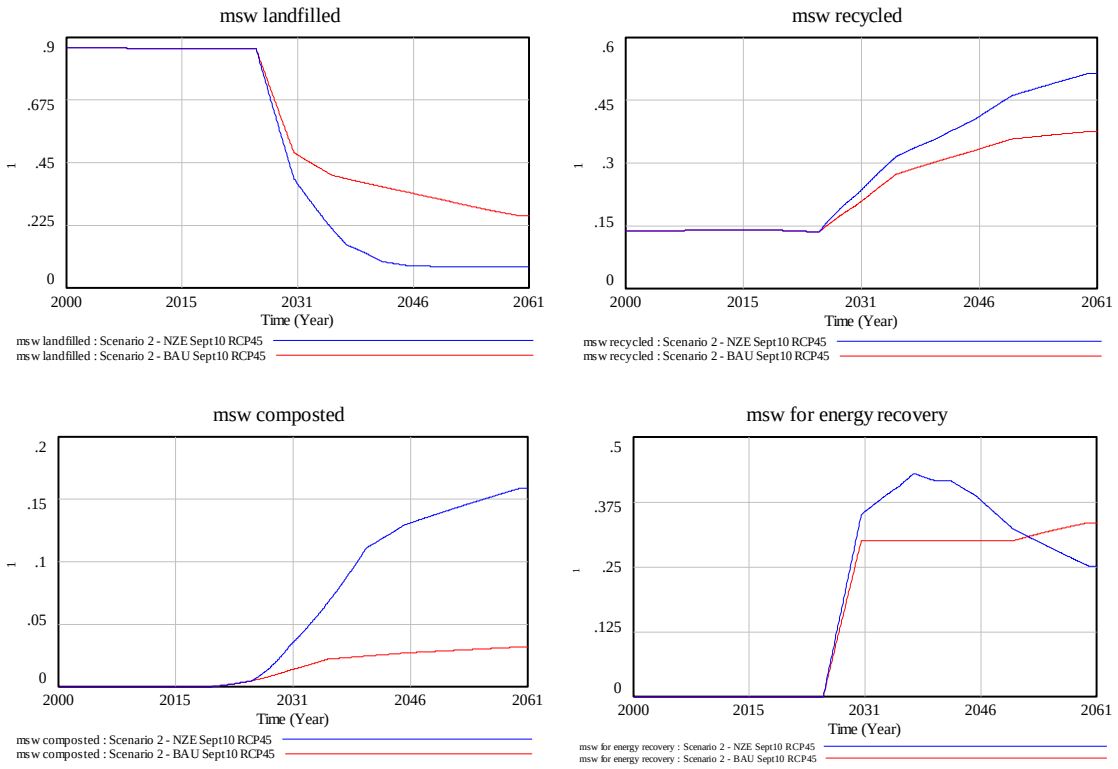


Рисунок 3.19 - Доля управления отходами по режимам управления отходами

С другой стороны, ожидается, что предусмотренная политика в области управления отходами положительно повлияет на занятость в секторе отходов. В сценарии BAU занятость в секторе отходов прогнозируется на уровне 33 600 человек в 2060 году. В сценарии NZE занятость в сфере управления отходами в 2060 году прогнозируется примерно на уровне 25 060 рабочих мест, что на 25,4% ниже по сравнению со сценарием BAU. Основной причиной такого сокращения рабочих мест является снижение объема отходов, который, несмотря на дополнительные рабочие места в области переработки материалов, недостаточен для компенсации сокращения потерь в результате предполагаемого сокращения образования отходов на душу населения. Общая занятость в сфере управления отходами и рекуперации материалов представлена на рисунке 3.20.

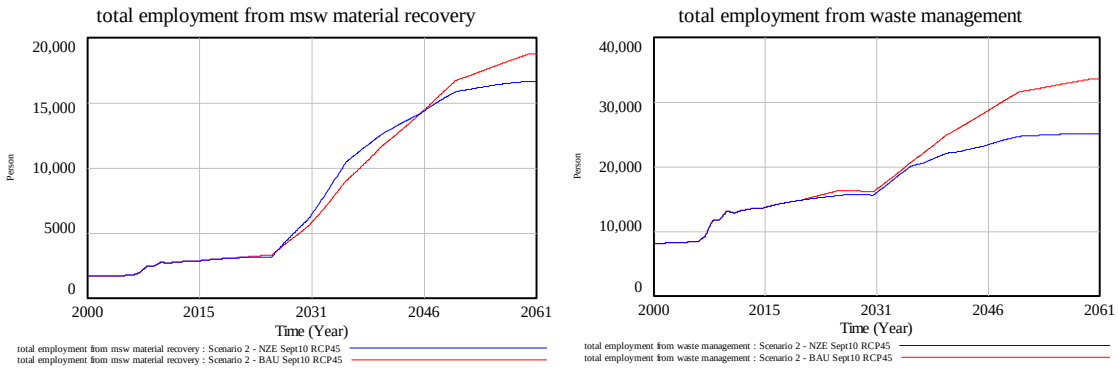


Рисунок 3.20 - Занятость в секторе отходов и занятость в переработке

Доля очищенных сточных вод предполагается постоянной на уровне 86,8 % как в сценарии BAU, так и в сценарии NZE. Следовательно, наблюдаемое сокращение сточных вод пропорционально приводит к уменьшению количества очищенных сточных вод (Рисунок 3.21, график слева). Более низкие объемы сточных вод в сценарии NZE снижают потребности в мощностях очистки сточных вод. Прогнозируемое сокращение мощностей по очистке сточных вод в 2060 году по сценарию NZE составит 29,9% по сравнению с базовым уровнем.

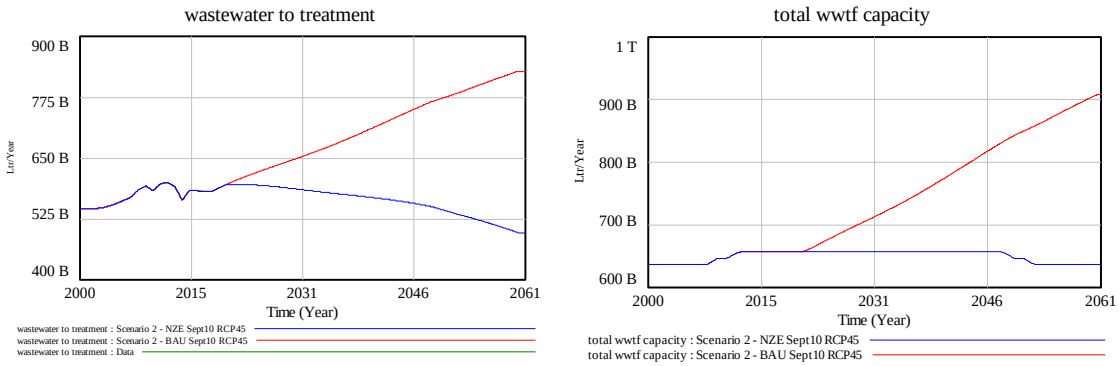


Рисунок 3.21 - Общий объем сточных вод на очистку и мощности по очистке сточных вод

3.3.5. Выбросы от управления отходами

По прогнозам, реструктуризация сектора отходов позволит значительно сократить выбросы как от управления отходами, так и от сточных вод.

Динамика общих выбросов эквивалента CO2 от сектора отходов в сравнении с историческими данными представлена на рисунке 3.22. Согласно сценарию BAU, общий объем выбросов, связанных с отходами, по прогнозам, несколько снизится с 7 млн тонн в год в 2020 году до 6,89 млн тонн в год к 2060 году. В сценарии NZE предусмотренный сдвиг в управлении отходами и повторном использовании сточных вод для производства энергии способствует сокращению выбросов на 50,1% в 2060 году, упав до 3,43 млн тонн в год.

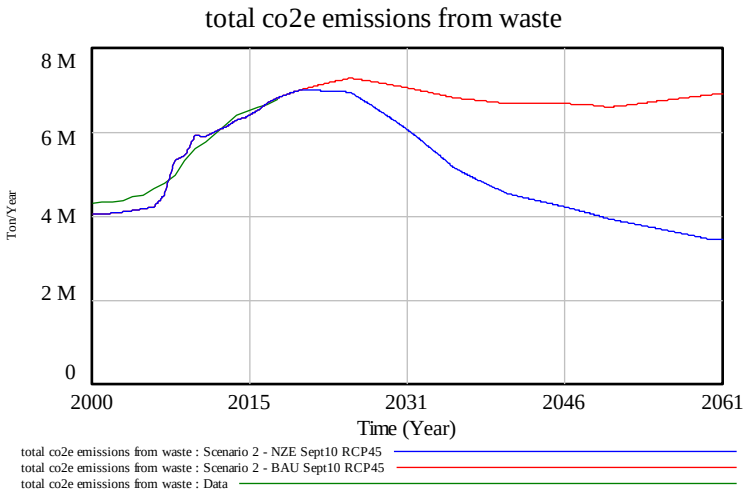


Рисунок 3.22 - Общие выбросы эквивалента CO2 от сектора отходов

Выбросы ПГ от управления отходами, по прогнозам, сократятся до 3,54 млн тонн эквивалента CO_2 в год в базовом сценарии в 2060 году, а сценарий NZE показывает прогнозируемые выбросы в объеме 1,42 млн тонн эквивалента CO_2 в год. Таким образом, предусмотренные пути низкоуглеродного развития имеют потенциал сокращения выбросов, связанных с управлением ТБО, в 2050 году на 59,7% по сравнению со сценарием BAU. Динамика выбросов от ТБ в сценариях BAU и NZE представлена на рисунке 3.23 в сравнении с историческими данными.

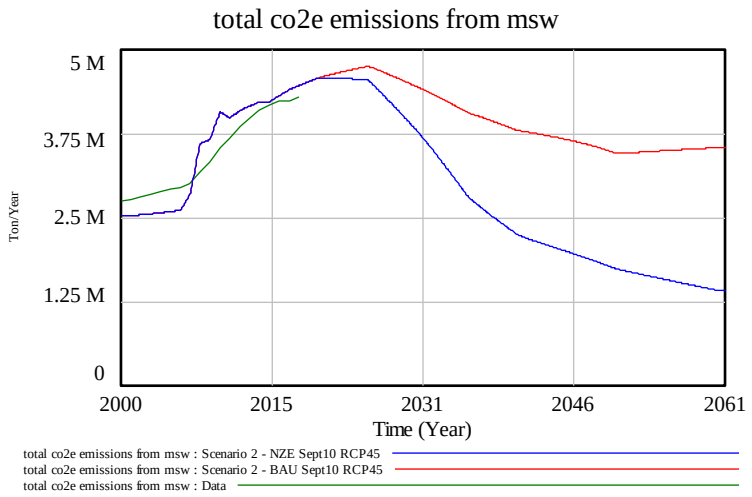


Рисунок 3.23 - Общие выбросы эквивалента CO2 в результате управления твердыми бытовыми отходами

Выбросы от управления ТБО рассчитываются путем умножения количества материала по стадии управления отходами (сбор, обработка) и способу утилизации (захоронение на полигоне, компостирование) на соответствующие коэффициенты выбросов парниковых газов. Таким образом, состав потоков отходов и режим окончательной утилизации для каждого из материалов определяют количество выбросов, производимых сектором отходов.

Динамика общих выбросов эквивалента CO2 от сточных вод представлена на рисунке 3.24. Выбросы ПГ от сточных вод в модели KAZ LEDS оцениваются на основе общего количества осадка, образующегося из сточных вод, и доли осадка, используемого для производства биоэнергии. В период с 2020 по 2060 год выбросы эквивалента CO2, связанные со сточными водами, по прогнозам, увеличатся с 2,42 млн тонн в год до 3,35 млн тонн в год по сценарию BAU. В сценарии NZE выбросы эквивалента CO2, связанные со сточными водами, в 2060 году прогнозируются на уровне 2,01 млн тонн в год, что на 40% меньше по сравнению со сценарием BAU.

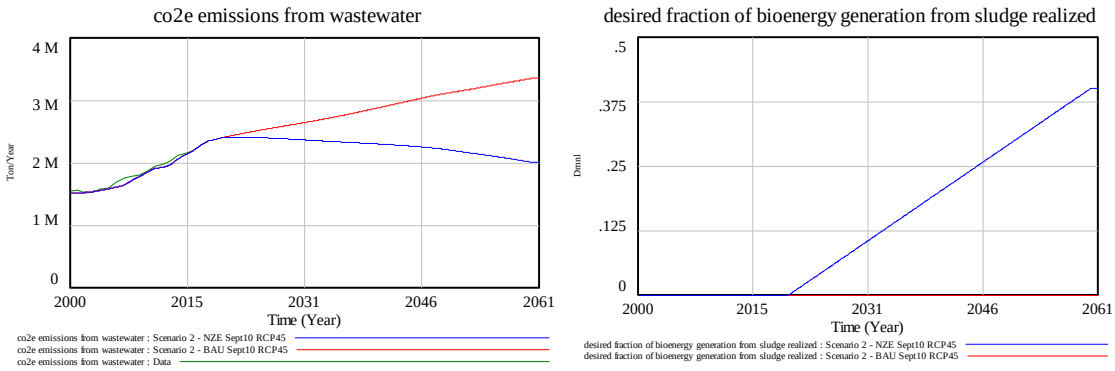


Рисунок 3.24 - Выбросы эквивалента CO2 от сточных вод

3.3.6. Потенциал производства биоэнергии

Описанная выше модель используется для оценки потенциала производства биоэнергии в масштабах всей страны. Теплотворная способность различных материалов (остатки, навоз, осадок) используется для оценки потенциальной мощности, которую можно было бы установить, если бы эти остатки использовались. Прогнозируемый потенциал производства биоэнергии в трех сценариях представлен на рисунке 3.25. В BAU прогнозируемый потенциал производства биоэнергии увеличивается примерно с 13 600 МВт в 2020 году до 20 100 МВт в 2060 году. Расширение повторного использования биоматериалов в сценарии NZE увеличивает общий потенциал производства биоэнергии в стране примерно до 32 000 МВт к 2060 году, главным образом за счет наличия пожнивных остатков. Это эквивалентно увеличению на 59,1% по сравнению с BAU.

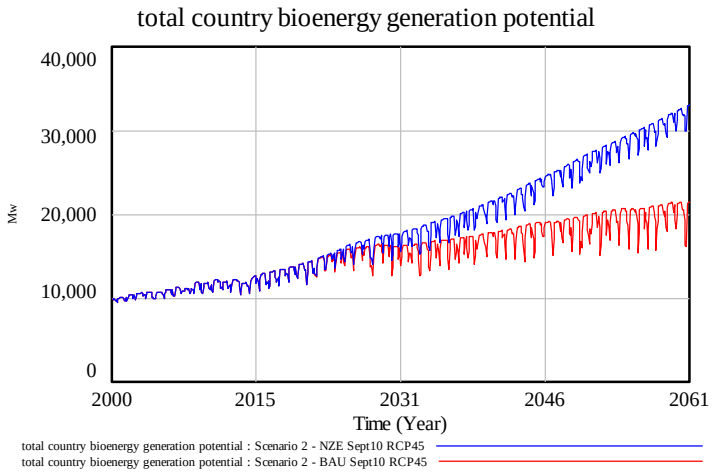


Рисунок 3.25 - Общий потенциал производства биоэнергии

В таблице 3.9 ниже представлена разбивка потенциала производства биоэнергии по категориям остатков за отдельные годы. Хотя другие политики в модели не влияют на потенциал генерации из остатков убоя и осадка, потенциал генерации из пожнивных остатков и навоза в сценарии NZE растет в динамике за счет роста сельскохозяйственного производства. Увеличение количества пожнивных остатков обусловлено усовершенствованием сельскохозяйственного производства в результате внедрения устойчивого сельского хозяйства. Потенциал производства биоэнергии из навоза увеличивается в результате увеличения доли собранного и повторно используемого навоза.

Таблица 3.9 - Потенциал производства биоэнергии в масштабах всей страны

Переменная	**Единица измерения**	**2020**	**2025**	**2030**	**2040**	**2050**	**2060**
Общий потенциал производства биоэнергии в стране							
Декарбонизация	МВт	13 652	15 860	17 219	21 157	26 473	31 979

NZE в сравнении с BAU	*%*	*0,2%*	*3,9%*	*10,1%*	*22,6%*	*40,1%*	*59,1%*
BAU	МВт	13 621	15 260	15 636	17 260	18 898	20 102
Пожнивные остатки							
Декарбонизация	МВт	7 948	9 595	10 500	13 435	17 680	22 602
NZE в сравнении с BAU	*%*	*0,2%*	*4,6%*	*13,2%*	*30,3%*	*56,0%*	*87,8%*
BAU	МВт	7 929	9 170	9 277	10 307	11 334	12 038
Навоз							
Декарбонизация	МВт	381	659	876	1 333	1 843	1 970
NZE в сравнении с BAU	*%*	*3,2%*	*36,5%*	*69,8%*	*136,5%*	*200,0%*	*200,0%*
BAU	МВт	369	483	516	563	614	657
Остатки убоя скота							
Декарбонизация	МВт	82	113	121	132	144	154
NZE в сравнении с BAU	*%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*
BAU	МВт	82	113	121	132	144	154
Осадок (сточные воды)							
Декарбонизация	МВт	5 240	5 494	5 722	6 257	6 805	7 253
NZE в сравнении с BAU	*%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*	*0,0%*
BAU	МВт	5 240	5 494	5 722	6 257	6 805	7 253

Рисунок 3.26 иллюстрирует прогнозируемые дополнительные мощности по производству биоэнергии согласно оценкам TIMES для сценария NZE. Хотя в сценарии BAU не предусмотрено дополнительных мощностей по производству биомассы, общая добавленная мощность в сценарии NZE к 2060

году прогнозируется на уровне 1030 МВт. Ежегодная выработка, а также инвестиции, затраты на ЭиТО и доходы отражены в TIMES.

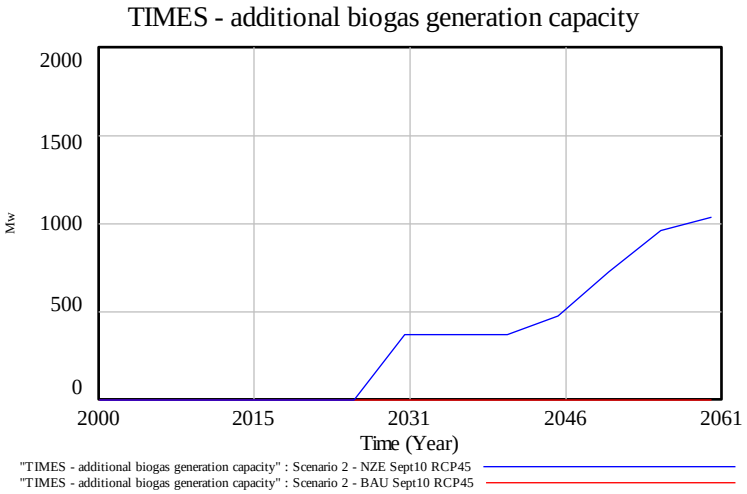


Рисунок 3.26 - Дополнительные мощности по производству биогаза и соответствующая выработка электроэнергии

Дополнительный биоэнергетический потенциал обеспечивает занятость за счет строительства и технического обслуживания. К 2060 году дополнительная занятость, созданная в результате строительства дополнительных мощностей по производству биогаза в NZE, прогнозируется на уровне 1820 рабочих мест. В среднем добавление мощностей по производству биомассы создает около 1540 рабочих мест в год в период с 2020 по 2060 год. Занятость за счет дополнительных биоэнергетических мощностей представлена на рисунке 3.27. Резкий рост занятости создается за счет занятости в строительстве, связанной с увеличением производственных мощностей за определенный период.

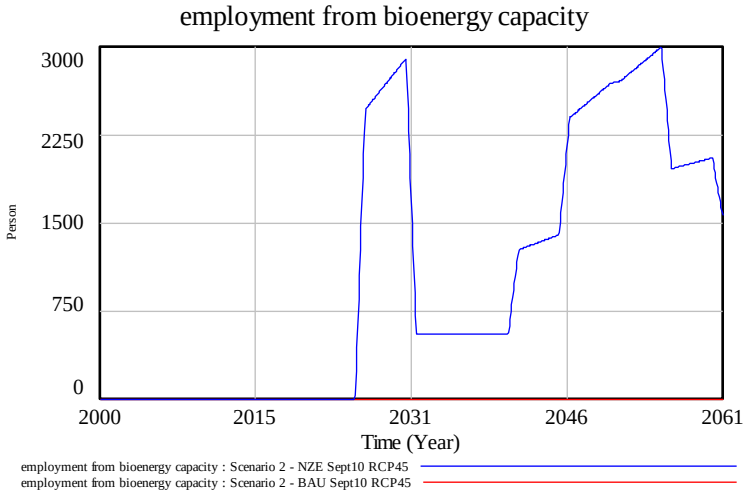


Рисунок 3.27 - Занятость за счет дополнительных биоэнергетических мощностей

Затраты на управление отходами

Предполагаемое сокращение объема отходов и затрат на технологии приводит к чистому снижению затрат на управление отходами в сценарии NZE, несмотря на переход от захоронения отходов к более дорогостоящим видам деятельности, таким как переработка и рекуперация энергии. Рисунок 3.28 иллюстрирует прогнозируемое развитие затрат на управление отходами в сценариях BAU и NZE.

Результаты сценария NZE указывают на чистую экономию как в части выбросов, так и затрат на управление отходами по сравнению с базовым уровнем. В сценарии BAU общая стоимость управления отходами указана в размере 1,91 млрд долларов США в год в 2060 году, в то время как стоимость в сценарии NZE указана в размере 980,2 млн долларов США в год, что на 48,6% ниже по сравнению с BAU. В совокупности затраты на управление отходами в период с 2020 по 2050 год снизятся на 16,43 млрд долларов США, в то время как предусмотренное увеличение объемов переработки и компостирования способствует совокупному сокращению на 52,3 млн тонн эквивалента CO_2 за тот же период.

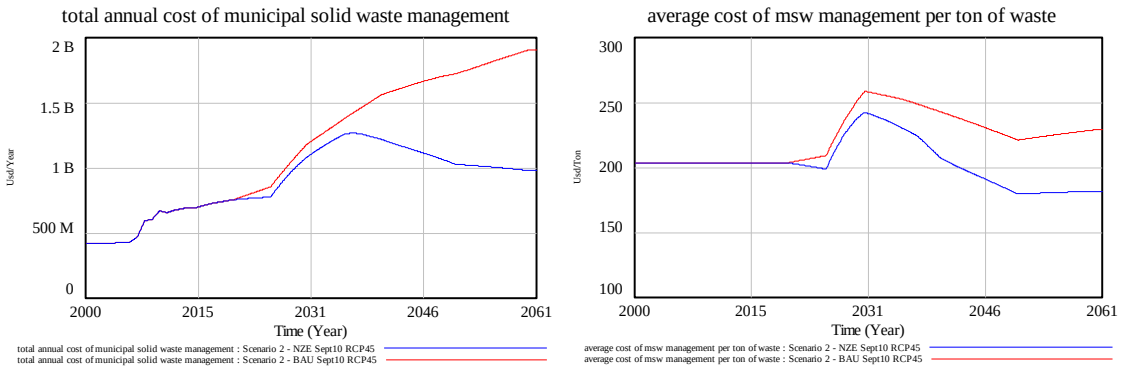


Рисунок 3.28 - Общая стоимость управления ТБО и средние затраты на утилизацию на тонну

3.3.7. Анализ затрат и выгод в секторе отходов

Экономическая оценка сектора отходов проведена с помощью комплексного анализа затрат и выгод, в котором учитываются необходимые инвестиции, предотвращенные затраты и дополнительные выгоды от смоделированных вмешательств. Реализация целей, указанных в таблице 3.8, в течение следующих 40 лет, по прогнозам, приведет к чистой экономии в размере 20,61 млрд долларов США на системном уровне в сценарии NZE. Результаты комплексного анализа затрат и выгод представлены в таблице 3.10.

В сценарии NZE изложенные выше допущения приводят к снижению инвестиций, необходимых для создания потенциала по управлению отходами, что дает экономию в размере 14,19 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год по сравнению с базовым уровнем. Производство компоста и пеллетов требует дополнительных инвестиций в размере 1,82 млрд долларов США по сравнению со сценарием BAU. В сценарии NZE изменение в управлении отходами приводит к сокращению общественных издержек на 2,43 млрд долларов США и приносит чистую выгоду в размере 3,99 млрд долларов США, несмотря на снижение занятости в секторе управления отходами. Чистые интегрированные выгоды для сценария NZE составят 20,61 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год.

Таблица 3.10 - Комплексный анализ затрат и выгод в секторе отходов

Анализ затрат и выгод в секторе отходов в 2020–2060 гг.	**Единица измерения**	**Сценарий BAU**	**Сценарий NZE**	**NZE в сравнении с BAU**
<u>Инвестиции и затраты</u>				
Затраты на управление отходами	**млн долл. США**	**58 874**	**42 862**	**-16 012**
Стоимость строительства	млн долл. США	38 064	28 214	-9 850
Расходы на техническое обслуживание	млн долл. США	20 810	14 648	-6 162
Производство компоста	**млн долл. США**	**0**	**815**	**815**
Общая стоимость производства компоста	млн долл. США	0	815	815
Производство пеллетов	**млн долл. США**	**0**	**1 004**	**1 004**
Общая стоимость производства пеллетов	млн долл. США	0	1 004	1 004
(1) Итого инвестиции и затраты	***млн долл. США***	***58 874***	***44 681***	***-14 193***
<u>Социальные издержки</u>				
Общественная стоимость углерода	млн долл. США	8 712	6 345	-2 367
Изменение стоимости удобрений	млн долл. США	0	-65	-65
(2) Итого социальные издержки	***млн долл. США***	***8 712***	***6 280***	***-2 432***
<u>Дополнительные выгоды</u>				
Доходы от компоста	млн долл. США	0	2 450	2 450
Доходы от пеллетов	млн долл. США	0	2 641	2 641

Трудовые доходы от управления отходами	млн долл. США	7 847	6 697	-1 150
Трудовой доход от биоэнергетического потенциала	млн долл. США	0	45	45
(3) Общие дополнительные выгоды	***млн долл. США***	***7 847***	***11 833***	***3 986***
(3) - (2) - (1) Чистые интегрированные выгоды	**млн долл. США**	***-59 739***	***-39 129***	***20 610***

4. Сектор энергетики

В данном разделе будут рассмотрены все политики и меры, которые имеют отношение к снижению выбросов парниковых газов. Они будут проанализированы на предмет их охвата, затем будет проведена работа по возможности их моделирования и расчета на эффект снижения выбросов парниковых газов. Ниже в подразделах будут описание политик и мер, формирование сценариев и расчет их эффектов с результатами расчетов.

4.1. Методология

Для оценки воздействий предотвращения изменения климата в разlеле «Политики и меры», а также для получения прогнозов и общего воздействия политик и мер была применена модель TIMES-KAZ, которая была разработана в рамках проекта Германского общества по международному сотрудничеству (GIZ) «Поддержка «зелёной экономики» в Казахстане и Центральной Азии для низкоуглеродного экономического развития», финансируемого Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы и безопасности ядерных реакторов (BMU) в рамках Германской инициативы по климату (IKI). Модель была разработана для разработки Концепции низкоуглеродного развития Республики Казахстан.

Подробная информация по семейству моделей TIMES доступна на сайте Международного энергетического агентства.

В рамках данного документа модель TIMES-KAZ использовалась для секторов сжигания согласно классификации МГЭИК ООН и охватывает все основные парниковые газы: CO2, CH4, N2O. Базовым годом для модели является 2017 год, который был выбран в связи с тем что на момент разработки модели, все данные были доступны по этому году. Расчетный горизонт модели охватывает период до 2060 года.

Модель TIMES-KAZ – это целостная технологическая модель «снизу вверх», использующая линейное программирование на средне- и долгосрочных временных горизонтах для создания наименее затратной энергетической системы, оптимизированной в соответствии с рядом пользовательских ограничений. Модель TIMES-KAZ описывает развитие энергетической системы в Казахстане с подробной информацией об имеющихся технологиях и их стоимости.

Модель TIMES-KAZ используется для исследования возможного энергетического будущего на основе различных сценариев. Для анализа использовалась обновленная в 2021 году версия расширенной модели TIMES-KAZ, в которую дополнительно был введен набор передовых технологий, таких как производство водорода и использование геотермальной энергии.

Сильной стороной модели является детальное представление на технологическом уровне всех секторов сжигания, представляющих интерес с точки зрения снижения выбросов ПГ. Однако, надо учитывать, что модель не учитывает взаимодействие секторов сжигания на остальные отрасли экономики, и, соответственно не может учитывать межсекторальное взаимодействие с ними.

Модель TIMES-KAZ может использоваться как для расчета количественных оценок по отдельности, так и в совокупности. Причем в последнем случае может происходит взаимодействие политик и мер, тем самым изменяются эффекты на снижение выбросов ПГ.

4.1.1. Политики и меры

Определяемый на национальным уровне вклад

12 декабря 2015 года на двадцать первой сессии Конференции сторон РКИК ООН, состоявшейся в Париже 30 ноября - 13 декабря 2015 года было

принято Парижское соглашение. Казахстан подписал данное соглашение 2 августа 2016 года и ратифицировал 6 декабря 2016 года. 28 сентября 2015 года Казахстан заявил свой определяемый на национальным уровне вклад (ОНУВ, INDC - Intended Nationally Determined Contributions), в котором указано что Казахстан намерен добиться безоговорочного сокращения выбросов парниковых газов на уровне -15% от 1990 года к 2030 году и условного сокращения выбросов ПГ на уровне -25% от 1990 года к 2030 году при условии международной поддержки.

Углеродная нейтральность

12 декабря 2020 года, на виртуальном Саммите Климатических Амбиций, президент Республики Казахстан Касым-Жомарт Токаев заявил, что Казахстан станет климатически нейтральным к 2060 году. В рамках данного заявления в рамках КНУР было разработано два сценария до 2060 года: базовый сценарий и сценарий углеродной нейтральности, который содержит необходимые меры по достижению заявленной цели.

Снижение энергоемкости ВВП Казахстана

Низкоуглеродное развитие экономики предусматривает значительное сокращение выбросов парниковых газов в соотношении к валовому внутреннему продукту, переход в энергетике со сжигания углеводородных топливно-энергетических ресурсов на возобновляемые источники энергии (солнечная энергетика, ветроэнергетика, малые гидроэлектростанции), снижение потребления энергетических ресурсов и тем самым сокращения объемов выбросов парниковых газов в производстве и жилищно-коммунальной сфере (энергосбережение). Цели по снижению энергоемкости ВВП также повторены в концепции развития ТЭК РК до 2030.

Таблица 4.1 - Снижение энергоемкости ВВП Казахстана по отношению

	Цели
2015	-10% от уровня 2008 года
2020	-25% от уровня 2008 года
2030	-30% от уровня 2008 года
2050	-50% от уровня 2008 года

Концепция развития топливно-энергетического комплекса РК до 2030

28 июня 2014 года под номером № 724 была утверждена «Концепция развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года». Концепция развития ТЭК учитывает задачу активного вовлечения в энергобаланс возобновляемых источников энергии и альтернативных источников энергии; энерго- и ресурсосбережение, повышение энергоэффективности. Среди количественных целей, касаемых выбросов ПГ, Концепция повторяет цели по снижению энергоемкости ВВП, которые указаны в Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». На данный момент, Концепция развития ТЭК находится в процессе обновления и согласования.

Строительство атомной электрической станции

Данная цель поставлена в Концепции по переходу к «зеленой» экономики. Однако, вплоть до 2021 года, официальные лица в отношении планов по отношению к строительству атомной станции не высказывались определенно. В большей части были высказывания что надобности в в АЭС не предвидится в ближайшем будушем, либо что решение будет принято лишь после одобрения населением страны. История вопроса со стоительством АЭС до 2021 года подробно описана в статье «"Вновь заговорили об АЭС". Как возрождается атомная энергетика Казахстана» на новостном интернет-ресурсе «tengirnews.kz».

В начале сентября 2021 года Президент РК Токаев К.К. сказал, что «пришло время предметно рассмотреть этот вопрос, поскольку Казахстану нужна атомная станция». Позже, в ноябре 2021 года, он заявил, что ему все же придется принять «непопулярное» среди населения решение о строительстве атомной электростанции.

Таким образом, можно сказать, что вопрос строительства АЭС будет решен в ближайшее будущее в положительном русле. Так как цели по уровню мощности и по годам ввода не установлены то для оценки эффекта были использованы цели, ранее установленные в Концепции по переходу к «зеленой» экономики и данное мероприятие было использовано в сценарии с дополнительными мерами при расчете совокупного воздействия на снижение выбросов ПГ.

Международная авиация

Согласно руководству об отчетности Киотского протокола, в вопросах топлива для авиации и морской бункеровки, каждая Сторона Приложения I должна, в соответствии со Статьей 2, параграф 2 Протокола, указать действия, которые она предприняла для содействия/реализации каких-либо решений ИКАО и ИМО по ограничению или сокращению соответствующих выбросов.

Для достижения глобальных целей и содействия устойчивому росту международной авиации ИКАО осуществляет комплекс мер, включая усовершенствования авиационной техники, эксплуатационные усовершенствования, устойчивое авиационное топливо и рыночные меры (CORSIA - the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation).

Согласно информации с сайта ИКАО, Казахстан входит в список 107 стран, которые будут участвовать в программе CORSIA начиная с 1 января 2022 года.

Свод политик и мер по отраслям сектора сжигания

Ниже приведена сводная таблица политик и мер по отраслям сжигания топлива и летучих эмиссий, которые использовались для дальнейшего анализа по снижению выбросов парниковых газов.

Таблица 4.2 - Сводная таблица политик и мер по отраслям (сектор сжигания топлива и летучих эмиссий).

Название политики или меры	Затрагиваемый сектор	Цель и/или затрагиваемый вид деятельности	Ход осуществления	Краткое описание	Год начала осуществления	Осуществляющий (ие) субъекто или субъекты
Увеличение доли природного газа в выработке электроэнергии	Энергетика	20% в 2020 году, 25% в 2030 году.	Осуществляется	В Концепции по переходу к «зеленой» экономике и в Концепции развития ТЭК (обновляется на данный момент) заложена цель по достижению цели по увеличению доли природного газа в выработке электроэнергии.	2013	МЭ РК
Увеличение доли ВИЭ в выработке электроэнергии	Энергетика	3% в 2020 году, 6% в 2025 году, 15% в 2030 году.	Осуществляется	Цель заложена в Концепции по переходу к «зеленой» экономике и в Концепции развития ТЭК (обновляется на данный момент). Цель на 2030 год была увеличена с 10% до 15% Президентом РК на совещании по развитию электроэнергетической отрасли в мае 2021 года.	2013	МЭ РК
Снижение доли угля в выработке электроэнергии	Энергетика	40% к 2030 году	Планируется	Цель официально на была заявлена на международном уровне премьер-министром РК Маминым А.У. во время выступления на Конференции сторон РКИК ООН в 2 ноября 2021 года в городе Глазго	2021	МЭ РК

Строительство Атомной электрической станции	Энергетика	1.5 ГВт к 2030 году, 2.0 ГВт к 2050 году	Планируется	Цель изначально была заложена в Концепцию по переходу к "зеленой" экономике. В последнее время, в 2021 году, эта темя была опять поднята в связи с ростом потребления электроэнергии и прогнозируемым дефицитом мощностей в ближайшем будущем. Конкретные цифры по мощностям нигде не приводятся, кроме упомянутой Концепции по переходу к "зеленой" экономике.	2022	МЭ РК
Углеродный налог на неквотируемые сектора системой торговли выбросами	Сельское хозяйство, ЖКХ, Транспорт.	3 доллара США за тонну CO2 в 2023 году и далее с ежегодным увеличением на 3 доллара США.	Планируется	Данная мера планировалась в рамках Дорожной карты реализации ОНУВ, подготовленной при поддержке Всемирного банка (см раздел по Межсекторальным политикам и мерам)	2022	Правительство РК

Сценарии выбросов ПГ в рамках восьмого национального сообщения и пятого двухгодичного доклада

В данном разделе приводится информация, по полученным прогнозам, по сценариям «не предусматривающего принятие мер», «предусматривающего принятие мер» и «принятие дополнительных мер».

Для получения прогнозов выбросов ПГ и оценки общего эффекта от сектора энергетики мерами была использована модель энергетической системы РК на базе инструмента TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System), разработанного в рамках проекта по разработки Стратегии

низкоуглеродного развития РК до 2060 года. Описание модели дается в подразделе, посвященной методологии.

Были рассмотрены следующие сценарии развития энергетической системы Казахстана:

1) сценарий без мер (БМ);

2) сценарий с текущими мерами (СМ);

3) сценарий с текущими и дополнительными мерами (СДМ).

Общие предположения для всех сценариев

Здесь представлены общие предположения, используемые для всех сценариев:

- ВВП в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2030 года по 4,0% в год, до 2035 года по 3,5% в год;
- Рост населения в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2035 года ежегодные темпы роста в диапазоне 0,8-0,9% в год;
- Система торговли квотами не учитывается в силу отсутствия утвержденных ограничений на рассматриваемый прогнозируемый период;
- Добыча нефти повышается до пика (115 миллион тонн) 2035 году;
- Газификация страны идет согласно прогнозному балансу газа РК как минимум и согласно сценарным предположениям как максимум.

Сценарий без мер (БМ).

Данный сценарий отображает возможный вариант изменения объемов выбросов парниковых газов при ситуации, когда не предпринимаются никакие меры по их снижению. Дальнейший рост экономики происходит за счет использования угля как топлива для производства энергии. В данном сценарии предполагается, что выбросы парниковых газов зависят от общего темпа роста ВВП и населения.

Сценарий с текущими мерами (СМ)

Этот сценарий включает в себя принятые и планируемые меры и политики, которые нацелены прямо на снижение выбросов парниковых газов:

- Доля выработки электроэнергии на природном газе на уровне 20% и 25% в 2020 и 2030 годах соответственно;
- Доля выработки электроэнергии на ВИЭ на уровне 3%, 6%, 15% в 2020, 2025 и 2030 годах.

Сценарий с текущими и дополнительными мерами (СДМ)

Этот сценарий включает в себя возможные к принятию меры и политики, которые нацелены прямо на снижение выбросов ПГ:

- Доля выработки на угле на уровне 40% к 2030 году;
- Ввод атомной электрической станции (АЭС) мощностью 1,5 ГВт в 2030 году и 2,0 ГВт 2050;
- Углеродный налог на неквотируемые сектора системой торговли выбросами.

Таблица 4.3 – Матрица сценарных предположений

	Сценарий без мер (БМ)	**Сценарий с текущими мерами (СМ)**	**Сценарий с текущими и дополнительными мерами (СДМ)**
Общие предположения для всех сценариев			
Система торговли выбросами	X	X	X

ВВП в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2030 года по 4,0% в год, до 2035 года по 3,5% в год	V	V	V
Рост населения в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2035 года ежегодные темпы роста в диапазоне 0,8-0,9% в год	V	V	V
Добыча нефти повышается до пика (115 миллион тонн) 2035 году	V	V	V
Газификация страны идет согласно прогнозному балансу газа РК как минимум и согласно сценарным предположениям как максимум	V	V	V
2020 – 24587 млн м3 (минимально)	V	V	V
2025 – 22243 млн м3 (минимально)	V	V	V
2030 – 21016 млн м3 (минимально)	V	V	V
Сценарные предположения			
Доля выработки электроэнергии на природном газе на уровне 20% и 25% в 2020 и 2030 годах соответственно	X	V	V
Доля выработки электроэнергии на ВИЭ на уровне 3%, 6%, 15% в 2020, 2025 и 2030 годах	X	V	V
Доля выработки на угле на уровне 40% к 2030 году	X	X	V
Ввод атомной электрической станции (АЭС) мощностью 1,5 ГВт в 2030 году и 2,0 ГВт 2050	X	X	V
Углеродный налог на неквотируемые сектора системой торговли выбросами	X	X	V

Выбросы парниковых газов по сектору энергетики

Сценарий без мер, сценарий с текущими мерами и сценарий с текущими и дополнительными мерами основаны на технико-экономическом моделировании сектора энергетики. Выбросы парниковых газов для всех трех сценариев представлены на рисунке 4.1 ниже.

Из графика видно, что текущие меры позволяют стабилизировать выбросы на уровне чуть выше, чем текущий уровень до 2030 году и затем до 2035 года идет дальнейший рост выбросов ПГ.

Для того, чтобы достичь снижения выбросов ПГ от сектора энергетики до уровня ниже, чем минус 15% от уровня 1990 года (в секторе энергетики) необходимо дополнительные меры. В данной работе к таким мерам отнесены снижение уровня угля в выработке электроэнергии до 40% к 2030 году (после 2030 года, не более 40%), ввод в действие АЭС мощностью 1,5 ГВт в 2030 году и введение углеродного налога на выбросы ПГ от неквотируемых секторов. Размеры углеродного налога определены в размере 2 долларов США за тонну CO2 в 2023 году, с 2024 по 2030 года – ежегодное увеличение по 2 доллара США за тонну CO2 (в 2030 году – 16 долларов США за тонну CO2). Начиная с 2031 по 2035 года углеродный налог увеличивается по 2,5 доллара ежегодно, но уже охватывает не только CO2, но и ПГ метан и закись азота, достигая уровня 29 долларов США в 2035 году.

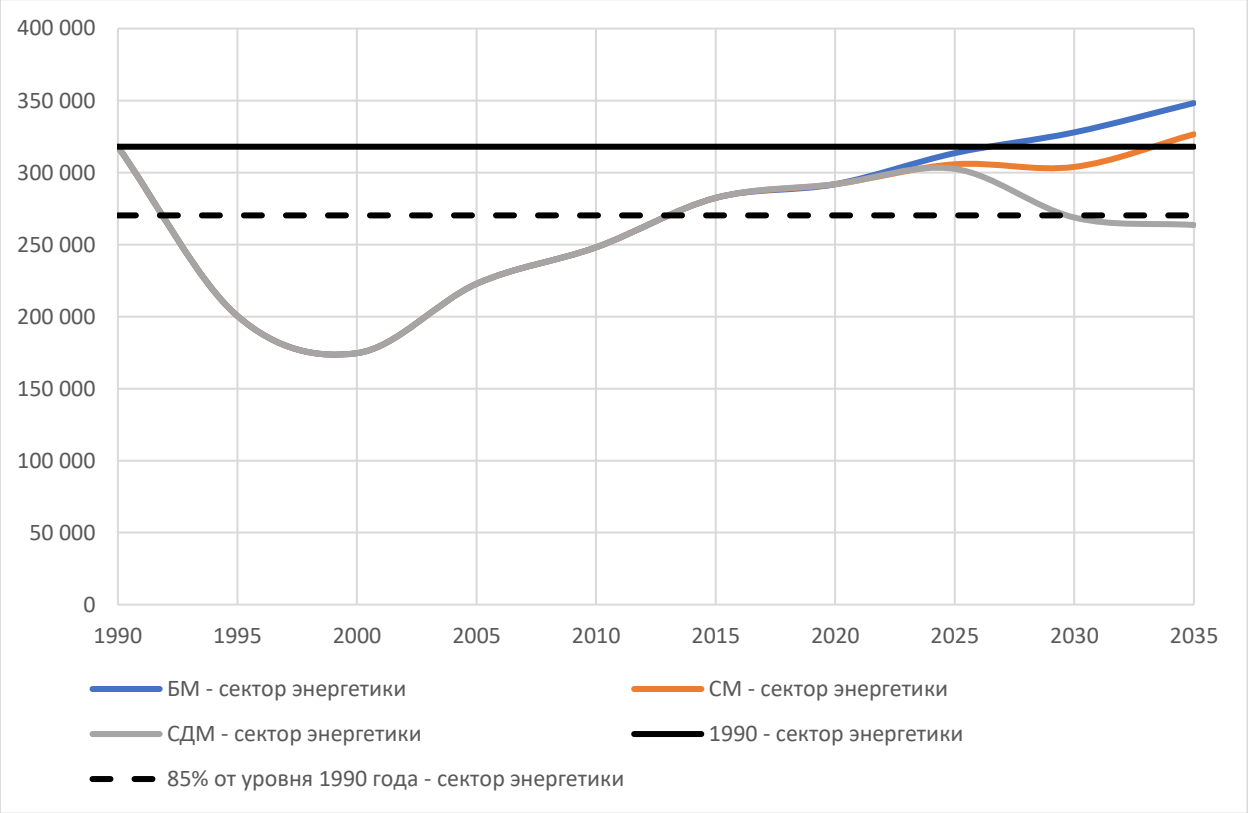


Рисунок 4.1 - Сценарии развития выбросов парниковых газов от сектора энергетики, ктCO2экв

Таблица 4.4 - Сценарии развития выбросов парниковых газов от сектора энергетики, МтCO2экв

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
БМ - сектор энергетики	318.0	200.4	174.6	222.8	248.1	282.4	291.9	313.5	327.9	348.3
СМ - сектор энергетики	318.0	200.4	174.6	222.8	248.1	282.4	291.9	305.8	303.9	326.6
СДМ - сектор энергетики	318.0	200.4	174.6	222.8	248.1	282.4	291.9	302.6	268.8	263.6

Производство тепло- и электроэнергии

В производстве тепло- и электроэнергии выбросы ПГ по сценариям представлены ниже на рисунке 4.2.

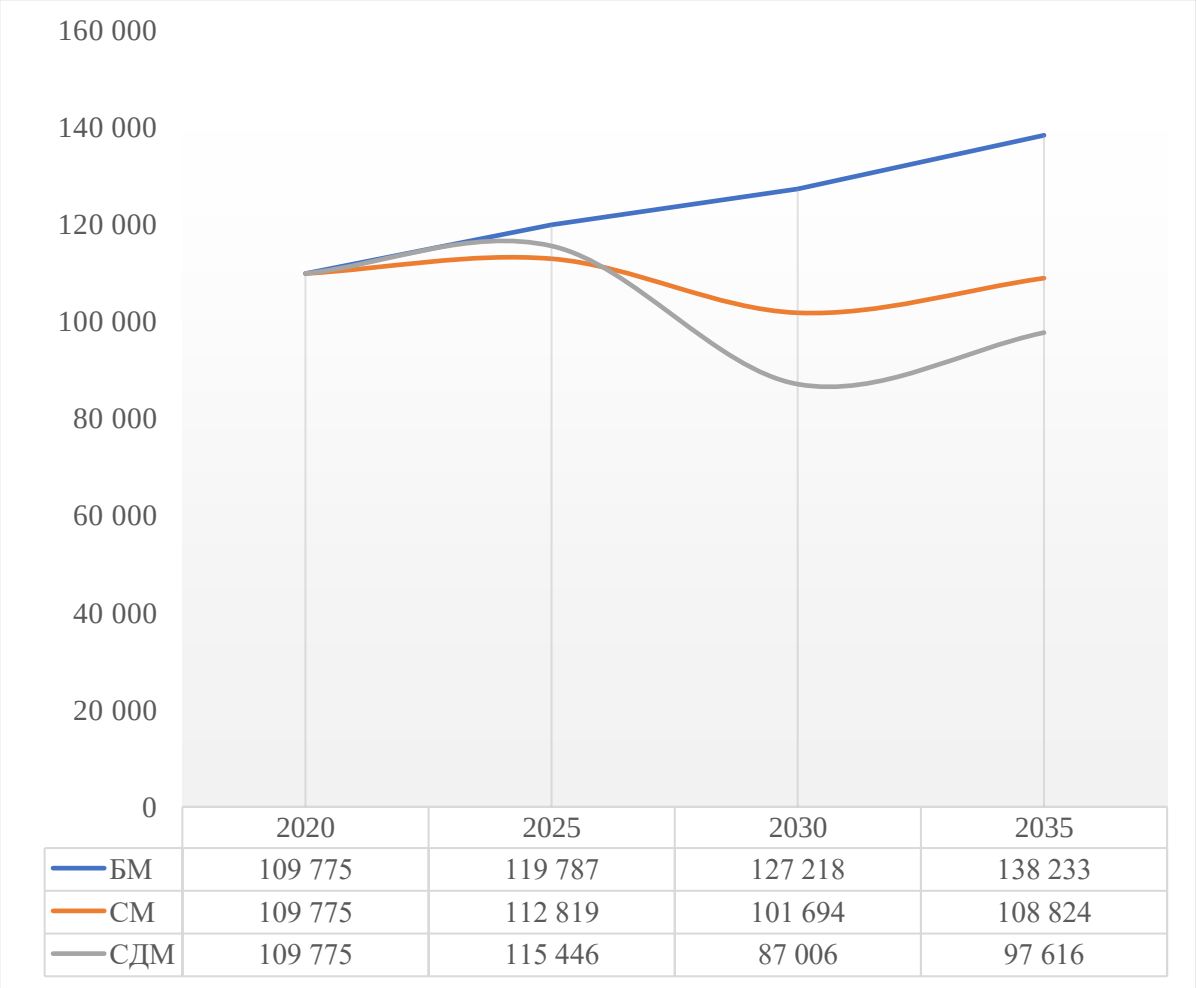


Рисунок 4.2 - Сценарии развития выбросов ПГ от выработки электроэнергии, ктCO2экв

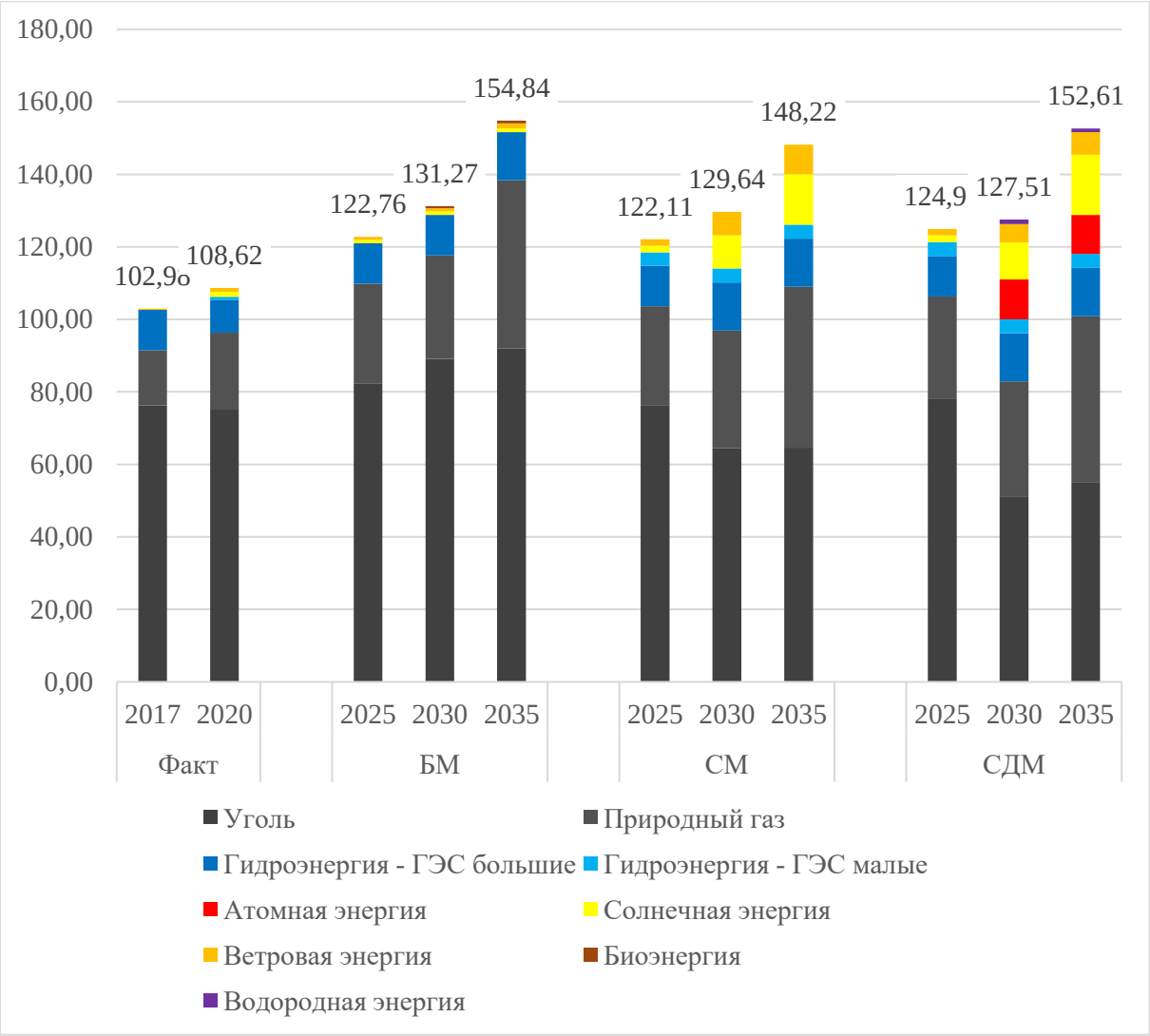


Рисунок 4.3 – Выработка электроэнергии, млрд квт*ч

Таблица 4.5 – Выработка электроэнергии, млрд квт*ч

	Факт		БМ			СМ			СДМ		
	2017	2020	2025	2030	2035	2025	2030	2035	2025	2030	2035
Уголь	76.28	75.11	82.19	89.12	91.93	76.15	64.51	64.56	78.19	51.04	55.12
Природный газ	15.16	21.17	27.62	28.51	46.45	27.48	32.40	44.44	28.12	31.87	45.77
Гидроэнергия - ГЭС большие	11.16	9.10	11.16	11.20	13.28	11.16	13.28	13.28	11.16	13.28	13.28
Гидроэнергия - ГЭС малые	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	3.67	3.86	3.86	3.85	3.86	3.86
Атомная энергия	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.95	10.74
Солнечная энергия	0.04	1.35	0.97	0.97	1.00	1.85	9.10	13.94	1.85	10.23	16.64

Ветровая энергия	0.34	1.08	0.82	0.82	1.42	1.80	6.48	8.14	1.80	5.03	6.21
Биоэнергия	0.00	0.00	0.00	0.66	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Водородная энергия	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	1.00
Всего	**102.98**	**108.62**	**122.76**	**131.27**	**154.84**	**122.11**	**129.64**	**148.22**	**124.96**	**127.51**	**152.61**

Выработка электроэнергии увеличивается во всех сценариях в районе 20%, 30% и 50% по сравнению с 2017 годом в 2025, 2030 и 2035 годах соответственно. В сценарии с мерами эти уровни достигают 122,11, 129,64 и 148,22 млрд квт*ч.

Выработка электроэнергии из угля в сценариях с мерами и с дополнительными мерами ниже по сравнению со сценарием без мер. В этих сценариях, выработка на угле уменьшается, на природном газе, гидроэнергии, солнечной и ветровой энергии увеличивается.

В сценарии с дополнительными мерами присутствует энергия от АЭС (заложено в сценарий) и энергия водорода.

Таблица 4.6 – Структура выработки электроэнергии, %

	Факт		БМ			СМ			СДМ		
	2017	2020	2025	2030	2035	2025	2030	2035	2025	2030	2035
Уголь	74.1	69.1	67.0	67.9	59.4	62.4	49.8	43.6	62.6	40.0	36.1
Природный газ	14.7	19.5	22.5	21.7	30.0	22.5	25.0	30.0	22.5	25.0	30.0
Гидроэнергия - ГЭС большие	10.8	8.4	9.1	8.5	8.6	9.1	10.2	9.0	8.9	10.4	8.7
Гидроэнергия - ГЭС малые	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0	2.6	3.1	3.0	2.5
Атомная энергия	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	7.0
Солнечная энергия	0.0	1.2	0.8	0.7	0.6	1.5	7.0	9.4	1.5	8.0	10.9
Ветровая энергия	0.3	1.0	0.7	0.6	0.9	1.5	5.0	5.5	1.4	3.9	4.1
Биоэнергия	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Водородная энергия	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.7
Всего	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Структура выработки по сценариям показывает, что доля угля в выработке уменьшается во всех сценариях. Увеличение в сценарии без мер

связано с большими темпами увеличения выработки электроэнергии на природном газе по сравнению с темпами увеличения угля.

Таблица 4.7 – Установленные мощности электростанций, ГВт

	Факт		БМ			СМ			СДМ		
	2017	2020	2025	2030	2035	2025	2030	2035	2025	2030	2035
Уголь	16.3	14.7	15.2	16.6	17.6	15.2	16.8	19.1	15.2	16.6	17.6
Природный газ	3.1	4.0	5.6	5.6	8.6	5.8	6.6	9.5	5.8	6.8	10.4
Гидроэнергия - ГЭС большие	2.6	2.8	2.6	2.6	3.1	2.6	3.1	3.1	2.6	3.1	3.1
Гидроэнергия - ГЭС малые	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Атомная энергия	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5
Солнечная энергия	0.1	0.9	0.6	0.6	0.6	1.1	5.3	8.0	1.1	5.9	9.5
Ветровая энергия	0.1	0.5	0.3	0.3	0.5	0.6	2.5	3.1	0.6	1.7	2.1
Биоэнергия	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Водородная энергия	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5
Всего	22.2	24.2	24.3	25.8	30.7	26.2	35.2	43.8	26.2	36.8	45.6

Как видно из таблицы, увеличение возобновляемых мощностей ведет к увеличению общей мощностей в большей мере чем традиционные виды электростанций. В сценариях с мерами и с дополнительными мерами, уровень установленных мощностей выше примерно на 10 и 15 ГВт в 2030 и 2035 годах соответственно.

В секторе производства теплоэнергии представлены выбросы от котельных, так как выбросы от теплоэлектроцентралей вошли в состав производства электроэнергии. Ниже представлены выбросы ПГ от котельных по сценариям. Как видно, выбросы по всем сценариям снижаются, связано это с большим переходом на теплоснабжение от ТЭЦ.

При сравнении выбросов ПГ между сценариями, можно видеть, что выбросы с дополнительными мерами выше, чем в сценарии с мерами. Связано это с тем, что увеличение в структуре выработки электроэнергии от АЭС и снижение угольной выработки электроэнергии ведет к снижению доли ТЭЦ,

и, соответственно тепла от них, что замещается увеличением использования тепла от котельных в сценарии с дополнительными мерами.

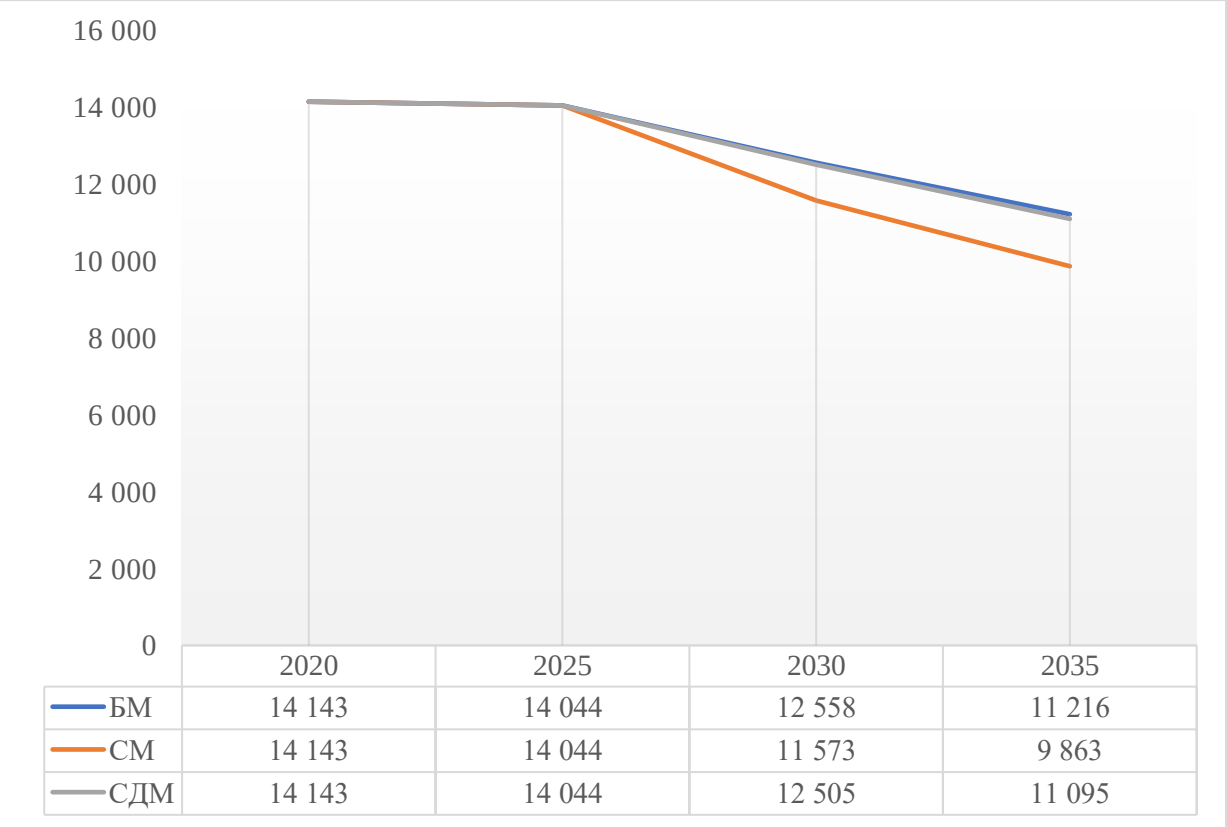


Рисунок 4.4 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в секторе производства теплоэнергии, ктCO2экв

Сектор нефтепереработки

Выбросы ПГ в нефтепереработке представлены ниже.

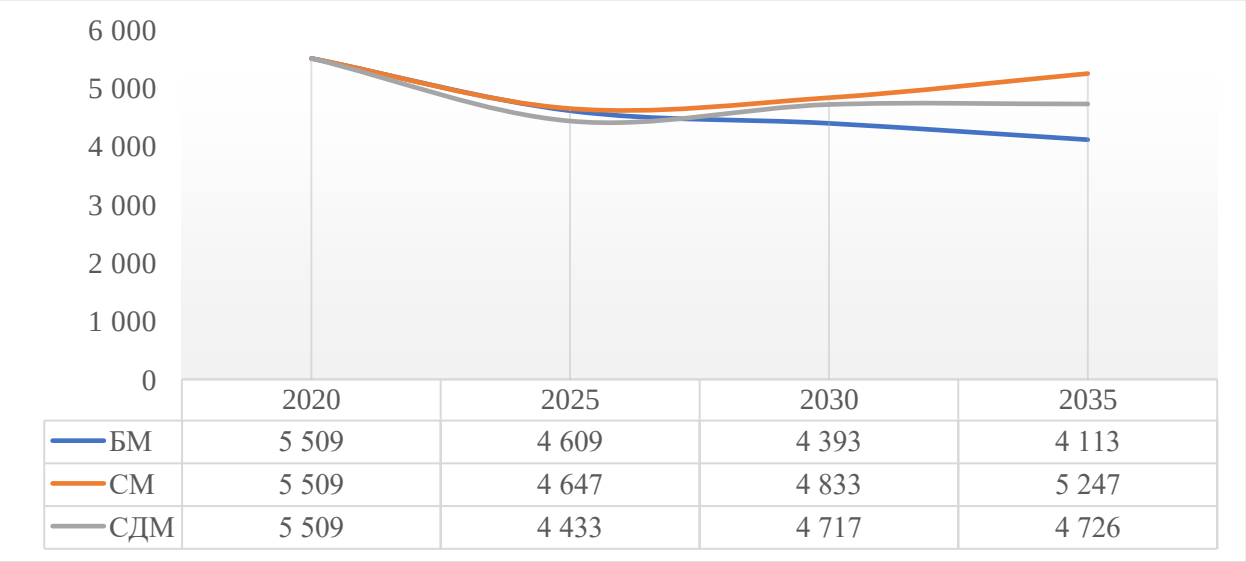
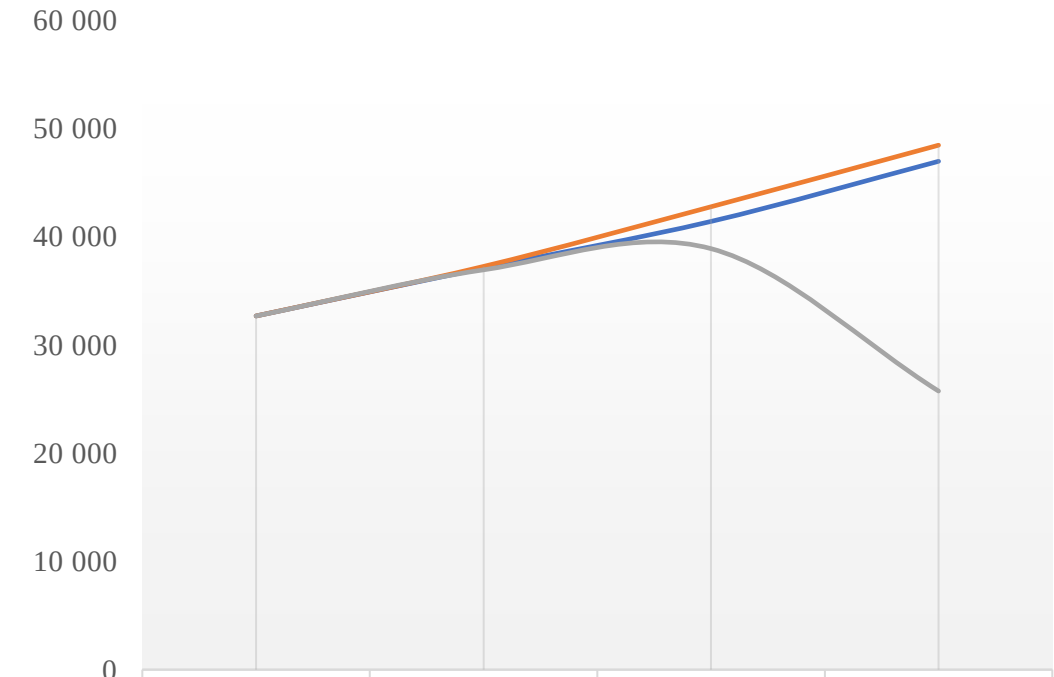


Рисунок 4.5 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в нефтепереработке, ктCO2экв

Сектор промышленности и строительства

Выбросы ПГ в промышленности и строительства представлены ниже.

Как видно, из рисунка, выбросы по сектору промышленности и строительства растет, так как это связано с ростом экономики. Однако видно, что в сценарии с дополнительными мерами происходит снижение выбросов ПГ наполовину по сравнению с другими сценариями в 2030 и 2035 годах. Связано это с вводом в состав промышленности мощности по производству стали с использованием водорода. В предложенной технологии, железная руда восстанавливается водородом в твердом состоянии, с получением железа прямого восстановления, называемого губчатым железом. Затем губчатое железо подается в электродуговую печь (ЭДП), где электроды генерируют ток для плавления губчатого железа с получением стали.



	2020	2025	2030	2035
БМ	32 649	37 067	41 376	46 922
СМ	32 649	37 220	42 729	48 410
СДМ	32 649	36 906	38 860	25 716

Рисунок 4.6 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в промышленности, ктCO2экв

Транспортный сектор

Выбросы ПГ в транспортном секторе представлены ниже.

Выбросы ПГ во всех сценариях растут, что связано с ростом экономики и спросом на грузоперевозки и пассажироперевозки. Возрастание использования газа в сценарии с мерами вызывает его повышенную стоимость по сравнению с бензином, что вызывает переход с гибридных автомобилей на газу (с использованием бензина как альтернативы) на полное использование бензина, который, в свою очередь увеличивает выбросы ПГ.

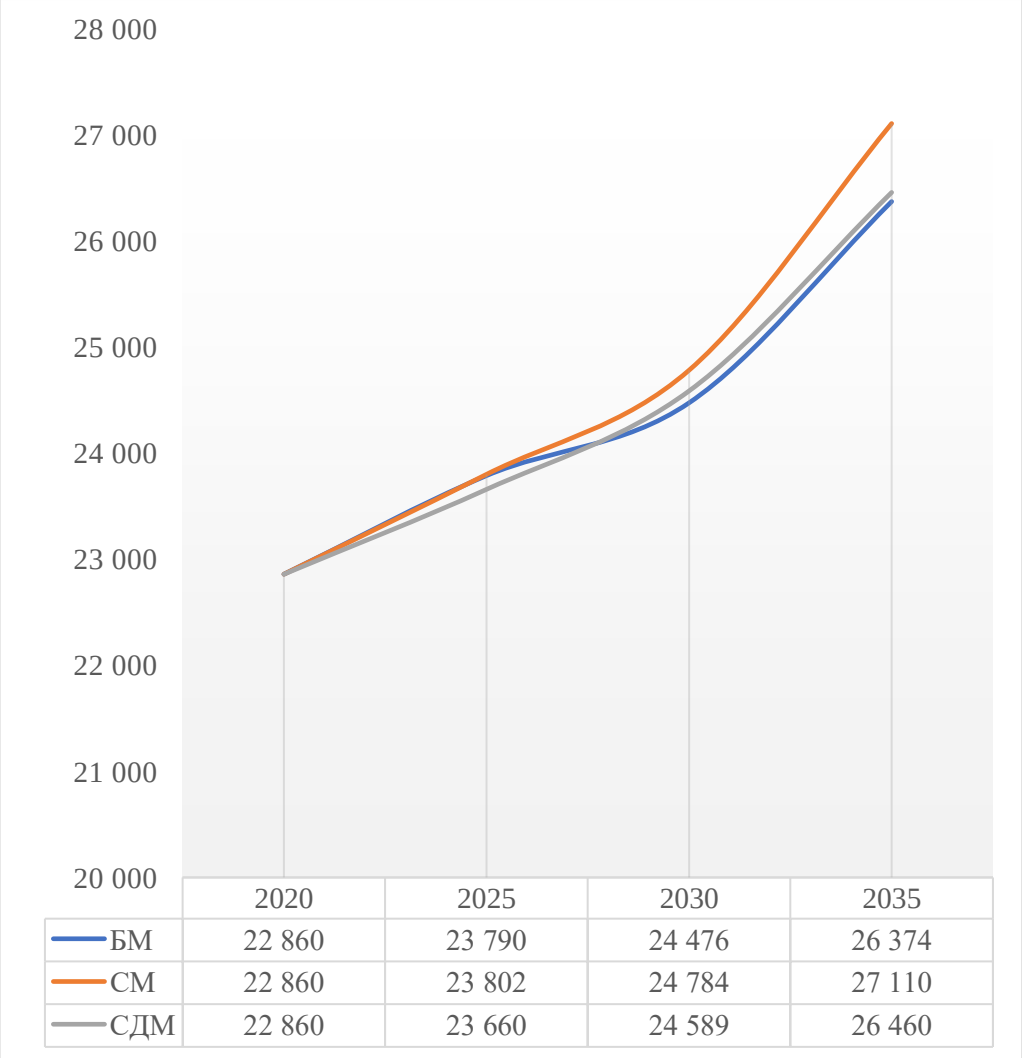


Рисунок 4.7 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в транспортном секторе, ктCO2экв

ЖКХ и сельское хозяйство

Выбросы ПГ в ЖКХ и в сельском хозяйстве приводятся ниже.

Коммерческий сектор

Ниже представлены выбросы ПГ по коммерческому сектору.

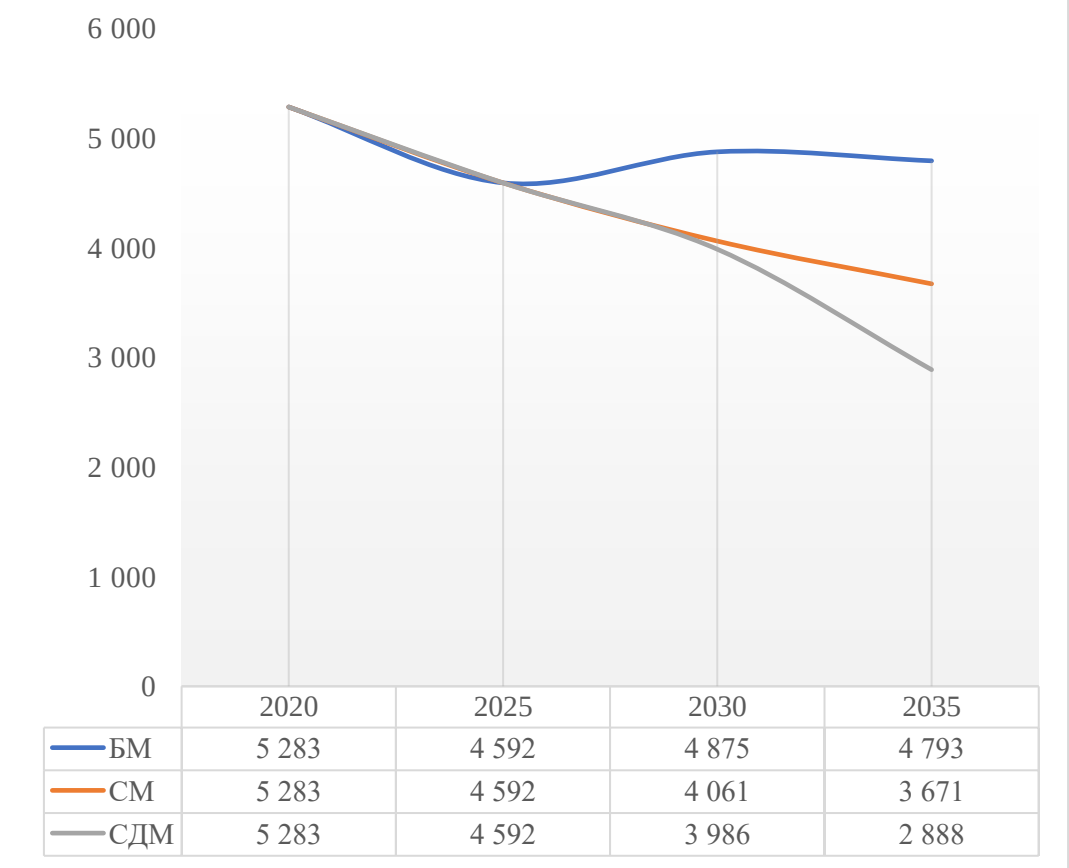


Рисунок 4.8 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в коммерческом секторе, ктCO2экв

Выбросы ПГ в коммерческом секторе снижаются в силу увеличения энергоэффективности используемых технологий, и в зависимости от мер по сценариям. Как видно, введение углеродного налога приводит к снижению выбросов ПГ в коммерческом секторе.

Население

Ниже представлены выбросы ПГ по населению

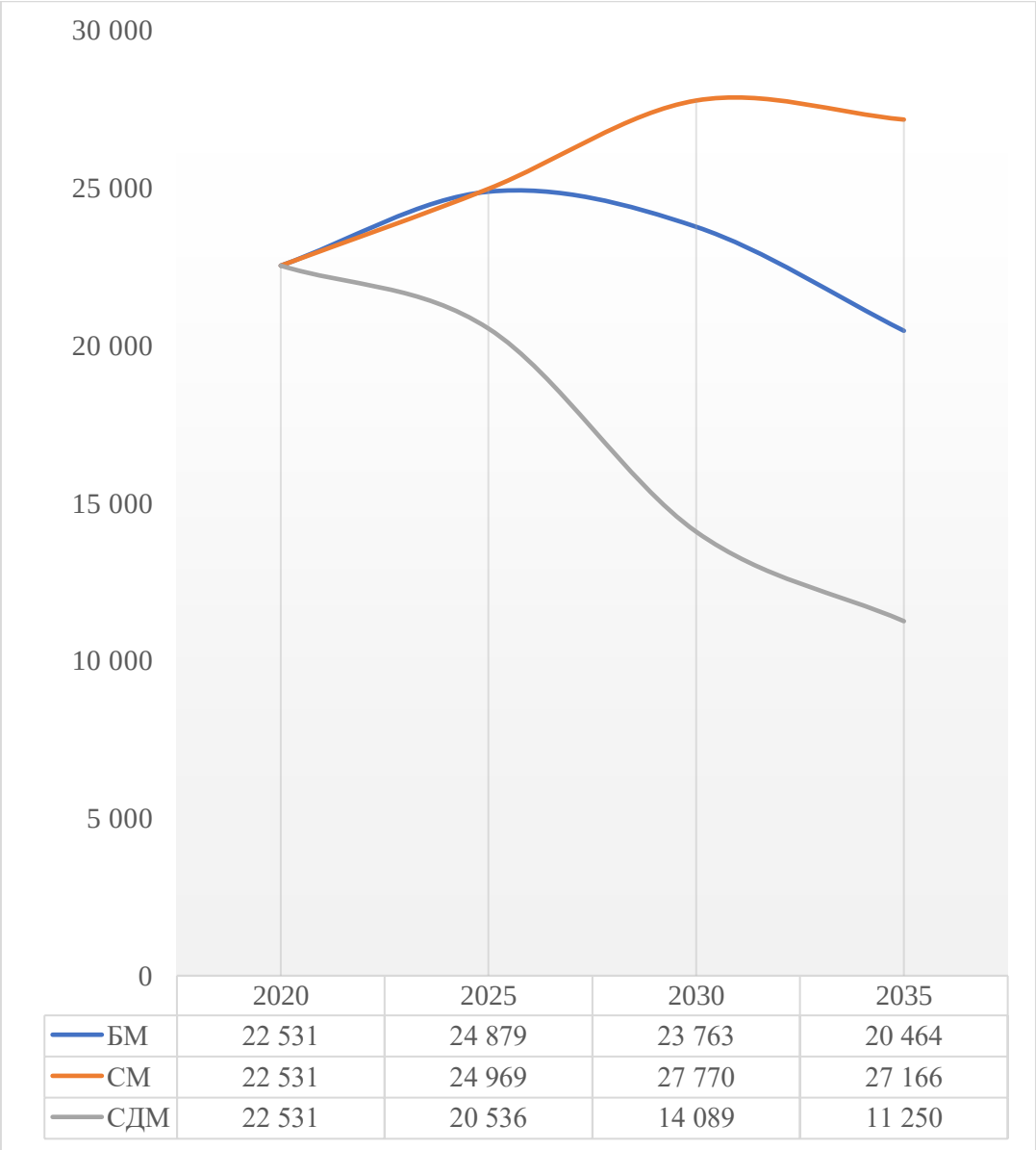
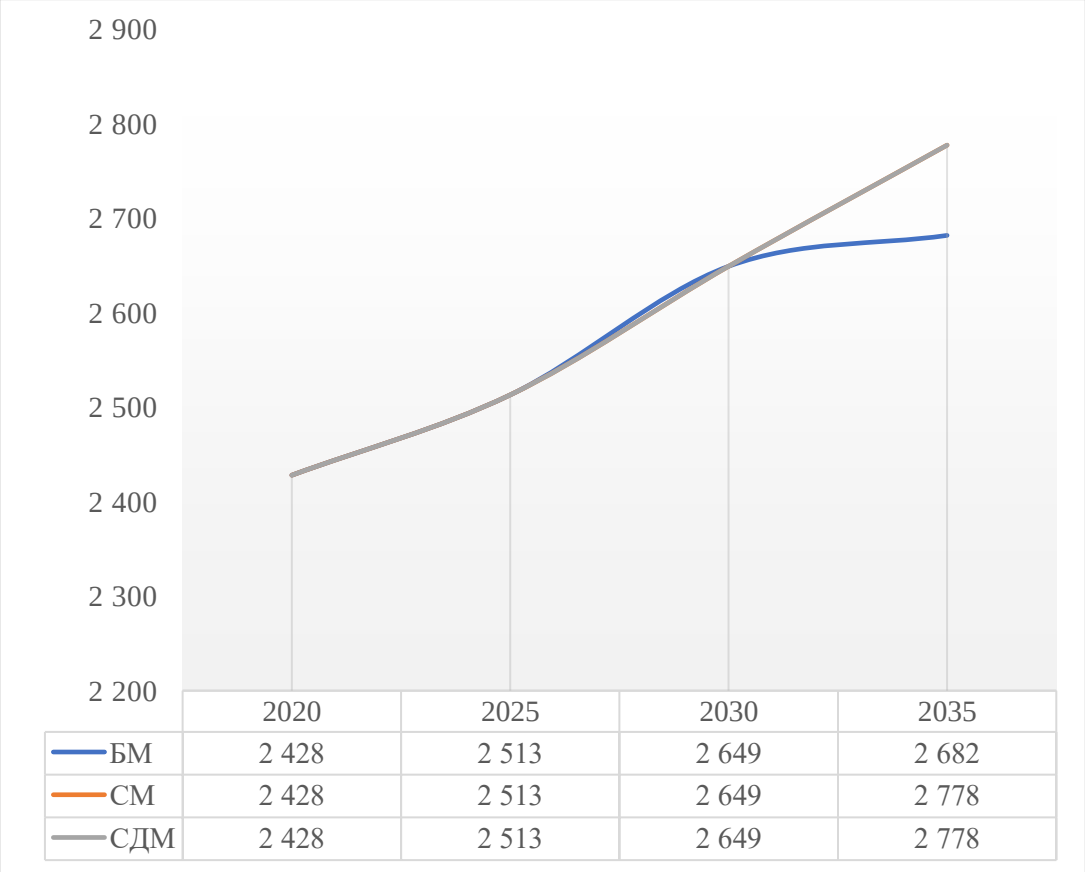


Рисунок 4.9 - Сценарии развития выбросов парниковых газов по населению, ктCO2экв

Выбросы от населения (здания) в сценарии с мерами выше, чем в сценарии без мер. Связано это с тем, что происходит утечка углерода из производственных отраслей в виде более низкой стоимости угля для населения. Однако установление углеродного налога снижает выбросы ПГ от домохозяйств практически в два раза по сравнению со сценарием без мер к 2035 году.

Сельское хозяйство

Ниже представлены выбросы ПГ по сельскому хозяйству.



	2020	2025	2030	2035
БМ	2 428	2 513	2 649	2 682
СМ	2 428	2 513	2 649	2 778
СДМ	2 428	2 513	2 649	2 778

Рисунок 4.10 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве, ктCO2экв

Выбросы ПГ в сельском хозяйстве растут во всех сценариях, так как заложен рост отрасли, как одной из важных для экономики страны.

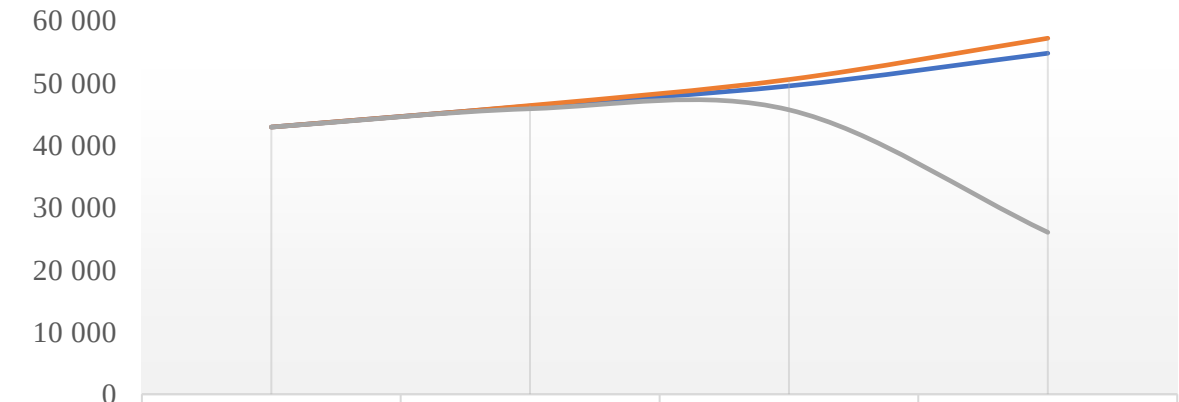
В сценариях с мерами и с дополнительными мерами выбросы ПГ после 2030 года выше, чем в сценарии без мер. Связано это с тем, что в сценариях с мерами и с дополнительными мерами, переход на электрифицированные виды транспорта происходит позднее из-за повышенной стоимости электроэнергии в силу действующих мер.

Сектор прочие

Выбросы ПГ в данном секторе относятся к тем выбросам, источники которых не идентифицированы и не распределены к соответствующим секторам. Связано это с тем, что не происходит полная отчетность по использованию топлива. В кадастре ПГ, который предоставляется в РКИК ООН, в описании к данному сектору приводится список энергопродуктов по которым наблюдаются выбросы и анализ возможного использования.

Базируясь на данной информации, была предпринята попытка промоделировать данный сектор путем привязки данных выбросов к соответствующими видам активности. Так по твердому виду была привязка к деятельности, которая использует кокс, по жидкому виду привязка была к объёмам нефтепродуктов и по газообразному виду привязка была к использованию природного газа в системе.

Ниже приведены полученные выбросы ПГ по данному сектору.



	2020	2025	2030	2035
БМ	42 880	46 250	49 481	54 726
СМ	42 880	46 340	50 509	57 135
СДМ	42 880	45 820	45 646	25 981

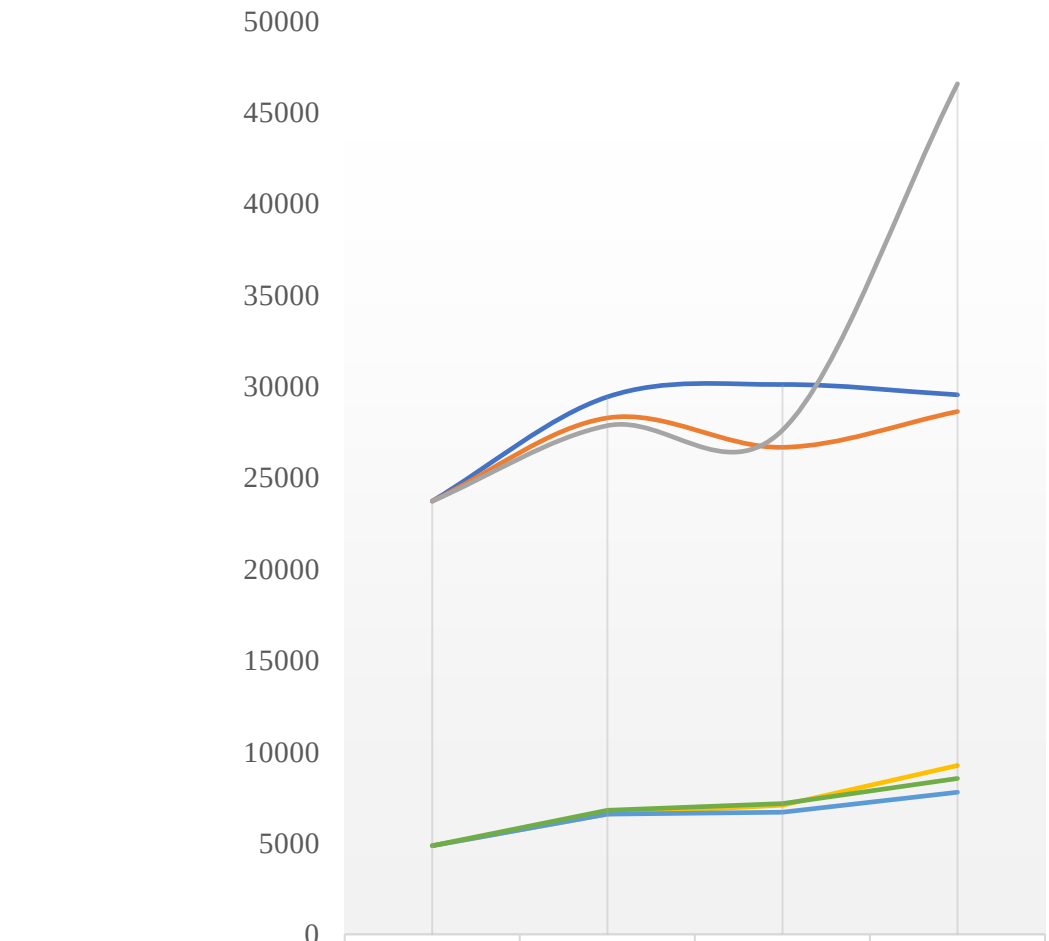
Рисунок 4.11 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в секторе прочие, ктCO2экв

Как видно, выбросы в секторе прочие сильно зависят от меры по введению углеродного налога. В то время как в сценарии с мерами, выбросы ПГ выше немного чем в сценарии без мер в связи с большим использованием бензина в транспортном секторе.

Выбросы парниковых газов в секторе летучих эмиссий

Выбросы ПГ по сектору летучих эмиссий представлены в данном разделе. Выбросы ПГ в данном секторе зависят от политик и мер в других секторах.

Видно, что в сценарии с дополнительными мерами выбросы ПГ увеличиваются по сравнению с другими сценариями в связи с производством водорода для производства железа (см сектор промышленности).



	2020	2025	2030	2035
БМ - Твердые виды топлива	23708	29411	30088	29526
СМ - Твердые виды топлива	23708	28258	26651	28609
СДМ - Твердые виды топлива	23708	27837	27587	46548
БМ - Нефть и природный газ	4845	6582	7067	9236
СМ - Нефть и природный газ	4845	6582	6685	7772
СДМ - Нефть и природный газ	4845	6778	7153	8526

Рисунок 4.12 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в секторе летучих эмиссий, ктCO2экв

4.2. Описание результатов в сценарии декарбонизации в секторе энергетики

В данном отчете анализируются возможности перехода к углеродно нейтральному развитию экономики РК. Так как цель по достижению углеродной нейтральности была поставлена к 2060 году, то прогнозный период был также расширен на этот период. В силу этого результаты будут представлены без сравнения с сценариями «не предусматривающего принятие мер», «предусматривающего принятие мер» и «принятие дополнительных мер», для которых прогнозный расчетный период установлен до 2035 года. Единственное исключение делается для сценария «не предусматривающего принятие мер». Данный сценарий был рассчитан до 2060 года и служит для сравнения с целевым сценарием этого отчета по декарбонизации.

Для получения прогнозов выбросов ПГ и оценки общего эффекта от сектора энергетики была использована модель энергетической системы РК на базе инструмента TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System), разработанного в рамках проекта по разработке Стратегии низкоуглеродного развития РК до 2060 года. Описание модели дается в подразделе, посвященной методологии.

Были рассмотрены следующие сценарии развития энергетической системы Казахстана:

1) сценарий без мер до 2060 года (БМ);

2) сценарий углеродной нейтральности до 2060 года (УН).

4.2.1. Общие предположения для всех сценариев

Здесь представлены общие предположения, используемые для всех сценариев:

- ВВП в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2030 года по 4,0% в год, до 2035 года по 3,5% в год;
- Рост населения в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2035 года ежегодные темпы роста в диапазоне 0,8-0,9% в год;
- Система торговли квотами не учитывается в силу отсутствия утвержденных ограничений на рассматриваемый прогнозируемый период; Использование для сценария проценты снижения углеродного бюджета из Экологического кодекса не представляется возможным в силу отсутствия распределения между квотируемыми и неквотируемыми секторами. Углеродный бюджет относится ко всем выбросам ПГ по экономике.
- Добыча нефти повышается до пика (115 миллион тонн) 2035 году;
- Газификация страны идет в интервале согласно прогнозному балансу газа РК как минимум и согласно сценарным предположениям как максимум.

Сценарий без мер (БМ).

Данный сценарий отображает возможный вариант изменения объемов выбросов парниковых газов при ситуации, когда не предпринимаются никакие меры по их снижению. Дальнейший рост экономики происходит за счет использования угля как топлива для производства энергии и других видов энергии при их экономической оптимальной целесообразности. В данном сценарии предполагается, что выбросы парниковых газов зависят от общего темпа роста ВВП, населения, и секторальных проекции роста.

Сценарий углеродной нейтральности (УН)

Этот сценарий рассматривает возможности по низкоуглеродной нейтральности энергетики путем фокусирования на цели максимального снижения выбросов ПГ до 2060 года. В учет приняты меры до 2035 года,

заложенные для сценария с текущими и дополнительными мерами подготовленными для сценария СДМ в Восьмом национальном сообщении.

Таблица 4.13 – Матрица сценарных предположений

	Сценарий без мер (БМ)	**Сценарий углеродной нейтральности (УН)**
Общие предположения для всех сценариев		
Система торговли выбросами	X	X
ВВП в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2030 года по 4,0% в год, до 2060 года по 3,5% в год	V	V
Рост населения в период 2022-2026 согласно Прогнозу социально-экономического развития РК (МНЭ РК) и далее до 2060 года ежегодные темпы роста в диапазоне 0,8-0,9% в год	V	V
Добыча нефти повышается до пика (115 миллион тонн) 2035 году	V	V
Газификация страны идет согласно прогнозному балансу газа РК как минимум и согласно сценарным предположениям как максимум	V	V
2020 – 24587 млн м3 (минимально)	V	V
2025 – 22243 млн м3 (минимально)	V	V
2030 – 21016 млн м3 (минимально)	V	V
Сценарные предположения		
Доля выработки электроэнергии на природном газе на уровне 20% и 25% в 2020 и 2030 годах соотвественно	X	V
Доля выработки электроэнергии на ВИЭ на уровне 3%, 6%, 15% в 2020, 2025 и 2030 годах	X	V
Доля выработки на угле на уровне 40% к 2030 году	X	V
Углеродный налог на неквотируемые сектора системой торговли выбросами	X	V
Ограничения по выбросам ПГ на всем расчетном прогнозом периоде	X	V

4.2.2. Выбросы парниковых газов по сектору энергетики

Сценарий без мер и сценарий углеродной нейтральности основаны на технико-экономическом моделировании сектора энергетики. Выбросы парниковых газов представлены ниже.

Из графика видно, что возможность по снижению выбросов по направлению к углеродной нейтральности начинает осуществляться в районе 2025 году. К 2030 году, выбросы ПГ в энергетике достигают уровня минус 20% к уровню выбросов ПГ в энергетике в 1990 году. Этот уровень только для энергетического сектора. Этот уровень далее снижается до минуса 40%, 54% и 99% в 2040, 2050 и 2060 годах соответственно. Уровень выбросов ПГ по энергетике в 2060 году составляет 2,7 млн тонн CO2-экв, которые связаны с цементной промышленностью, использованием природного газа для неэнергетических нужд и для производства водорода. Более подробно по секторам, снижение выбросов ПГ приведены далее по тексту.

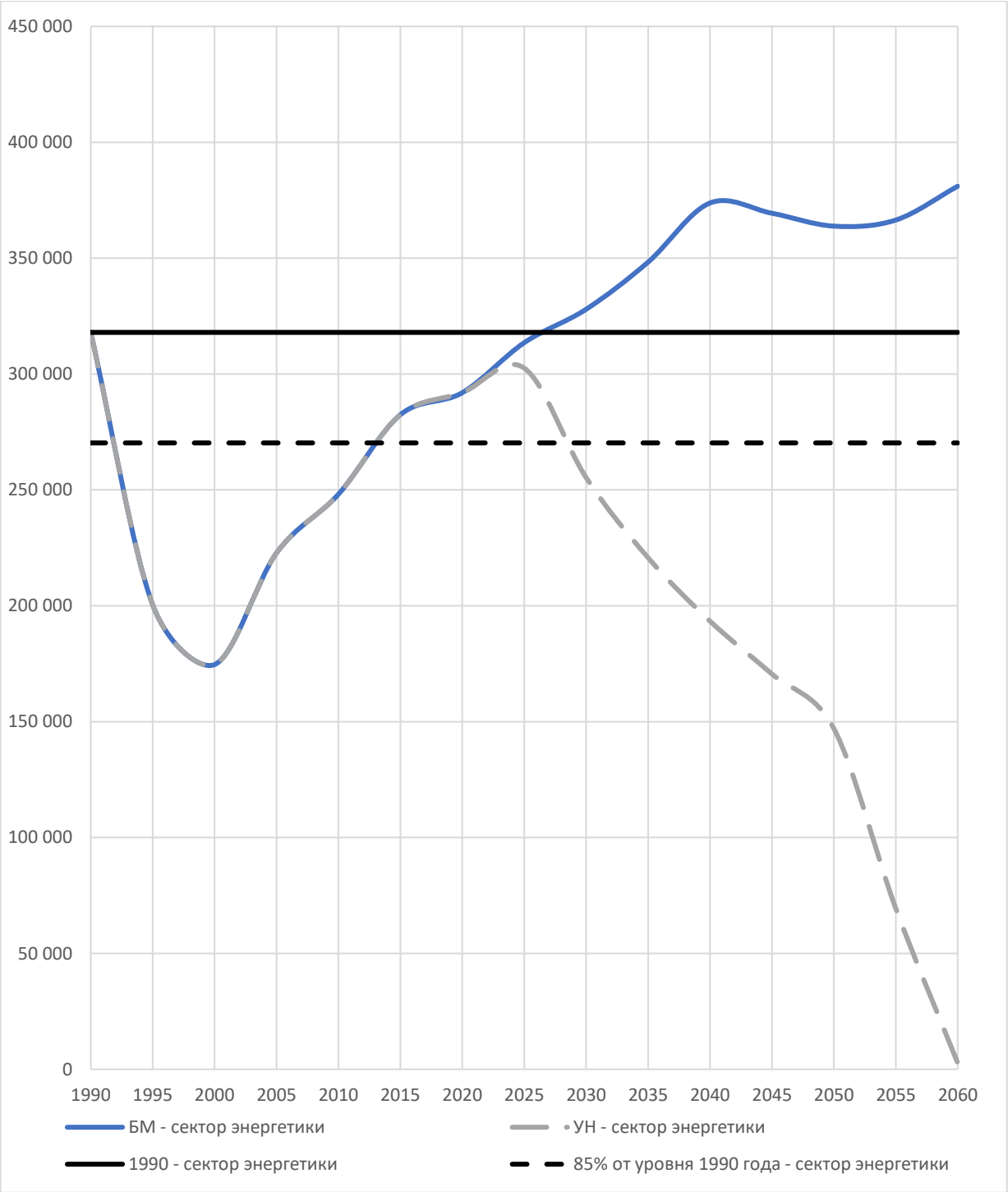


Рисунок 4.13 - Сценарии развития выбросов парниковых газов от сектора энергетики, ктCO2экв

Таблица 4.14 - Сценарии развития выбросов парниковых газов от сектора энергетики, МтCO2экв

	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060
БМ - сектор энергетики	318.0	174.6	248.1	291.9	327.9	373.8	363.8	381.0

УН - сектор энергетики	318.0	174.6	248.1	291.9	255.3	193.4	147.0	2.7

Производство тепло- и электроэнергии

В производстве тепло- и электроэнергии выбросы ПГ по сценариям представлены ниже на рисунке 4.14.

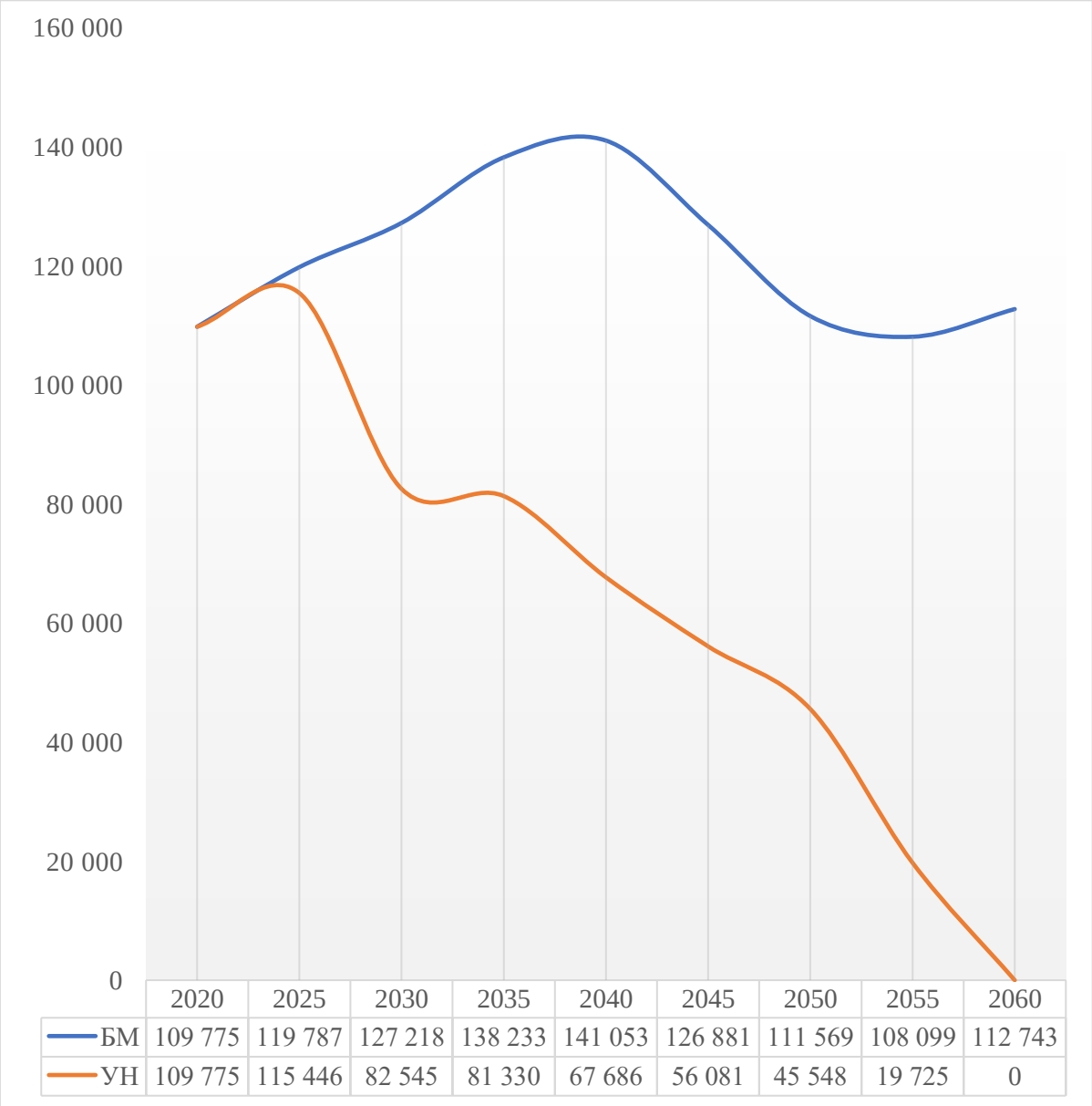


Рисунок 4.14- Сценарии развития выбросов парниковых газов в секторе производства электроэнергии, ктCO2экв

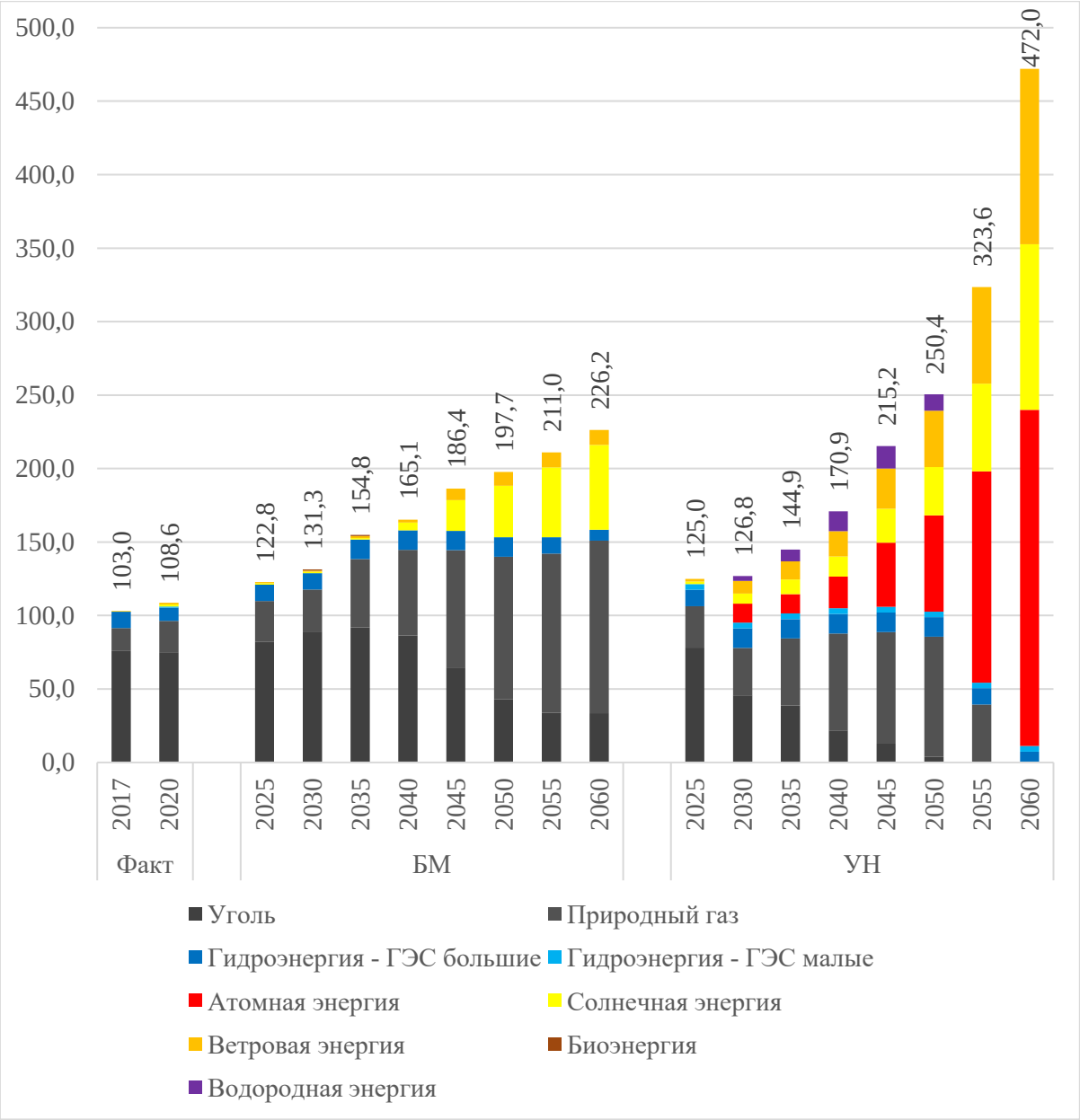


Рисунок 4.15 - Сценарии развития выработки электроэнергии, млрд квт*ч

Как видно из графика, если в сценарии без мер, выработка растет постепенно и увеличивается около 2 раз к 2060 году, то в сценарии углеродной нейтральности, рост достигает почти чуть менее 5 раз, что говорит о важности электрификации для углеродной нейтральности. При этом большую роль играет возобновляемые и альтернативные источники энергии.

Таблица 4.15 – Выработка электроэнергии, млрд квт*ч

	Факт		БМ					УН				
	2017	2020	2025	2030	2040	2050	2060	2025	2030	2040	2050	2060
Уголь	76.3	75.1	82.2	89.1	86.4	43.2	33.6	78.2	45.7	21.8	3.8	0.0
Природный газ	15.2	21.2	27.6	28.5	58.3	96.8	117.4	28.1	32.3	65.9	81.8	0.0
ГЭС большие	11.2	9.1	11.2	11.2	13.3	13.3	7.4	11.2	13.3	13.3	13.3	7.4
ГЭС малые	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9
Атом	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.9	21.5	65.5	228.6
Солнце	0.0	1.3	1.0	1.0	5.4	35.1	57.7	1.9	6.9	13.8	32.8	112.8
Ветер	0.3	1.1	0.8	0.8	1.8	9.5	10.0	1.8	8.7	17.3	38.5	119.3
Биоэнергия	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Водород	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	13.4	11.0	0.0
Всего	103.0	108.6	122.8	131.3	165.1	197.7	226.2	125.0	126.8	170.9	250.4	472.0

Таблица 4.16 – Структура выработки электроэнергии, %

	Факт		БМ					УН				
	2017	2020	2025	2030	2040	2050	2060	2025	2030	2040	2050	2060
Уголь	74.1	69.1	67.0	67.9	52.3	21.8	14.8	62.6	36.0	12.8	1.5	0.0
Природный газ	14.7	19.5	22.5	21.7	35.3	48.9	51.9	22.5	25.5	38.6	32.7	0.0
ГЭС большие	10.8	8.4	9.1	8.5	8.0	6.7	3.3	8.9	10.5	7.8	5.3	1.6
ГЭС малые	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	3.0	2.3	1.5	0.8
Атом	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	12.6	26.2	48.4
Солнце	0.0	1.2	0.8	0.7	3.3	17.7	25.5	1.5	5.5	8.1	13.1	23.9
Ветер	0.3	1.0	0.7	0.6	1.1	4.8	4.4	1.4	6.8	10.1	15.4	25.3
Биоэнергия	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Водород	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	7.8	4.4	0.0
Всего	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Структура выработки по сценариям показывает, что доля угля в выработке уменьшается во всех сценариях. Сокращение доли угля в УН достигает нуля к 2060 году. Доля природного газа увеличивается к 2040 году затем уменьшается до нуля, что необходимо для промежуточного периода 2020 – 2050 годов и для достижения углеродной нейтральности к 2060 году. Гидроэнергия не играет большой роли для всех сценариев. Атом играет

большую роль в сценарии с углеродной нейтральности, во-первых, для электроэнергии, которая используется в конечных секторах потребления, так, и, во-вторых, для электроэнергии, которая используется для производства водорода.

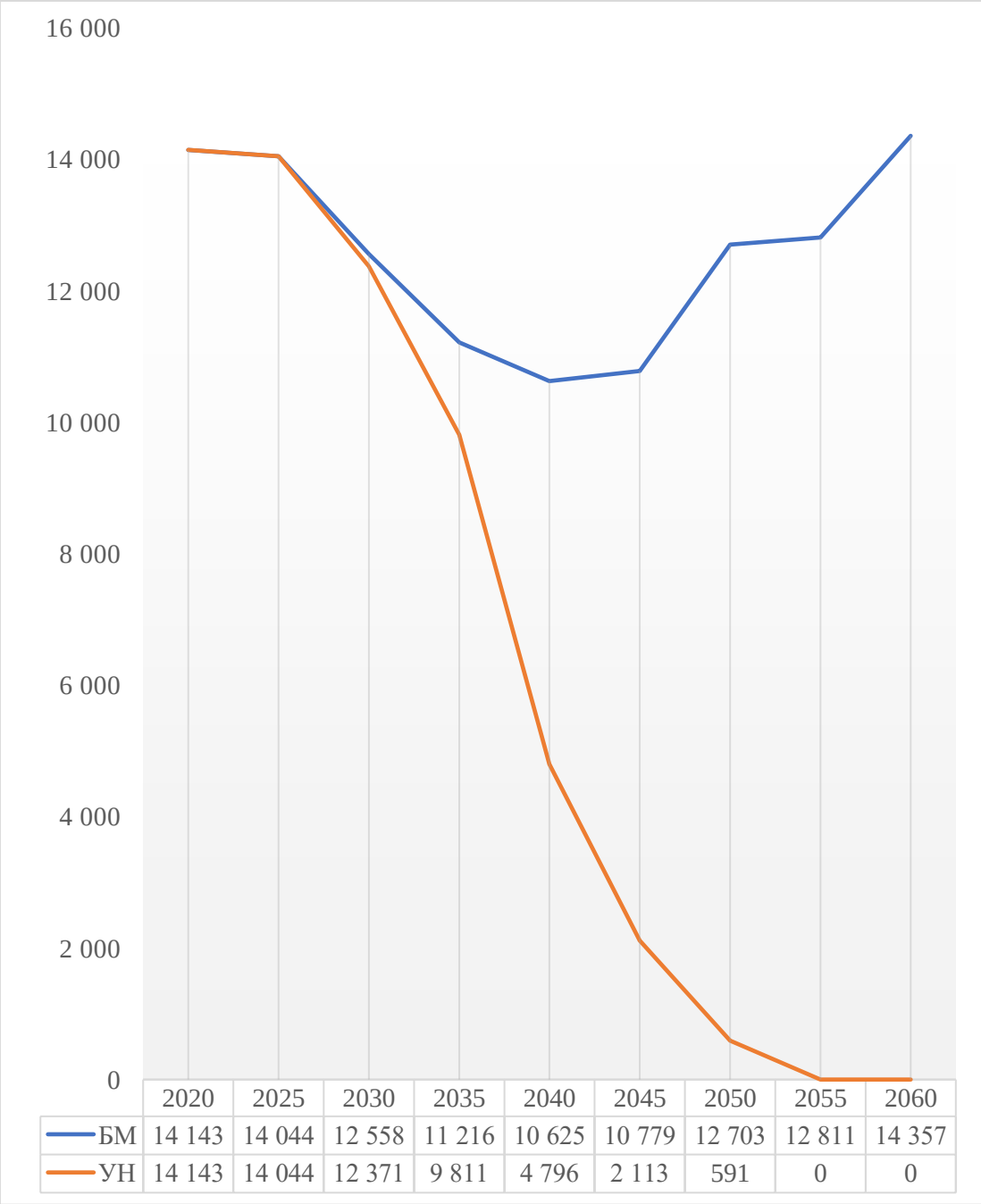
Таблица 4.17 – Установленные мощности электростанций, ГВт

	Факт		**БМ**					**УН**				
	2017	2020	2025	2030	2040	2050	2060	2025	2030	2040	2050	2060
Уголь	16.3	14.7	15.2	16.6	18.8	11.7	10.1	15.2	15.3	13.2	4.3	3.5
Природный газ	3.1	4.0	5.6	5.6	11.0	20.4	26.9	5.8	6.2	12.9	19.3	19.8
ГЭС большие	2.6	2.8	2.6	2.6	3.1	3.1	1.7	2.6	3.1	3.1	3.1	1.7
ГЭС малые	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Атом	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	3.0	9.0	31.0
Солнце	0.1	0.9	0.6	0.6	3.2	20.4	33.6	1.1	4.1	8.7	20.9	72.6
Ветер	0.1	0.5	0.3	0.3	0.6	3.2	3.4	0.6	2.8	5.6	12.6	38.9
Биоэнергия	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
Водород	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.4
Всего	22.2	24.2	24.4	25.9	37.0	59.1	76.0	26.5	34.5	47.8	71.3	170.8

Как видно из таблицы, увеличение возобновляемых мощностей ведет к увеличению общей мощностей в большей мере чем традиционные виды электростанций в силу меньших коэффициентов использования установленной мощности. В сценарии без мер мощности увеличиваются в 3,4 раза к 2060 году по сравнению с 2017 году, в то время как в сценарии углеродной нейтральности мощности уже увеличиваются в 7,7 раза к 2060 году. Причем около 100 ГВт в последнюю декаду – в период 2050-2060 годы.

В секторе производства теплоэнергии представлены выбросы от котельных, так как выбросы от теплоэлектроцентралей вошли в состав производства электроэнергии. Ниже представлены выбросы ПГ от котельных по сценариям. Как видно, выбросы в сценарии без мер снижаются до 2040 года и затем возрастают до начального уровня. Снижение до 2040 года происходит за счет улучшения энергоэффективности котельных систем, но после 2040 года идет увеличение спроса, что влечет за собой увеличение ПГ.

В сценарии УН, выбросы от котельных снижаются до нуля к 2055 году. Данное снижение сопровождается переходом на природный газ с одновременным улучшением энергоэффективности, и затем переход происходит на отопление на тепловых насосах.



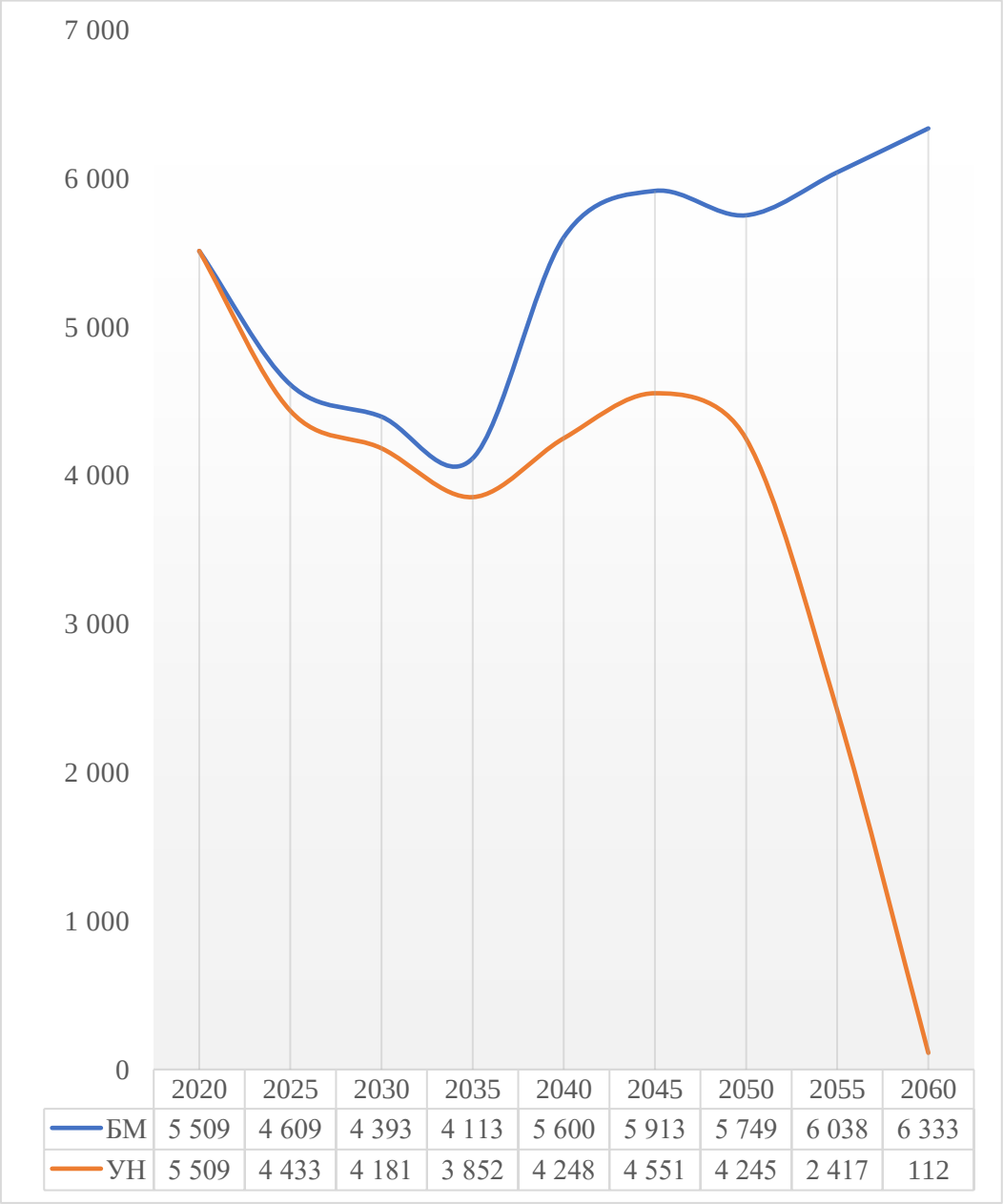
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
БМ	14 143	14 044	12 558	11 216	10 625	10 779	12 703	12 811	14 357
УН	14 143	14 044	12 371	9 811	4 796	2 113	591	0	0

Рисунок 4.16 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в секторе производства теплоэнергии, ктCO2экв

Сектор нефтепереработки

Выбросы ПГ в нефтепереработки представлены ниже. Выбросы снижаются в сценарии без мер до 2035 года, и затем увеличиваются. Снижение идет за счет снижения мазута для экспорта, увеличение за счет увеличения потребления того же мазута в более энергоэффективных процессах в промышленности.

В сценарии УН, выбросы ПГ снижаются практически до нуля, повторяя динамику выбросов ПГ в транспортном секторе (см. соответствующий сектор).



	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
БМ	5 509	4 609	4 393	4 113	5 600	5 913	5 749	6 038	6 333
УН	5 509	4 433	4 181	3 852	4 248	4 551	4 245	2 417	112

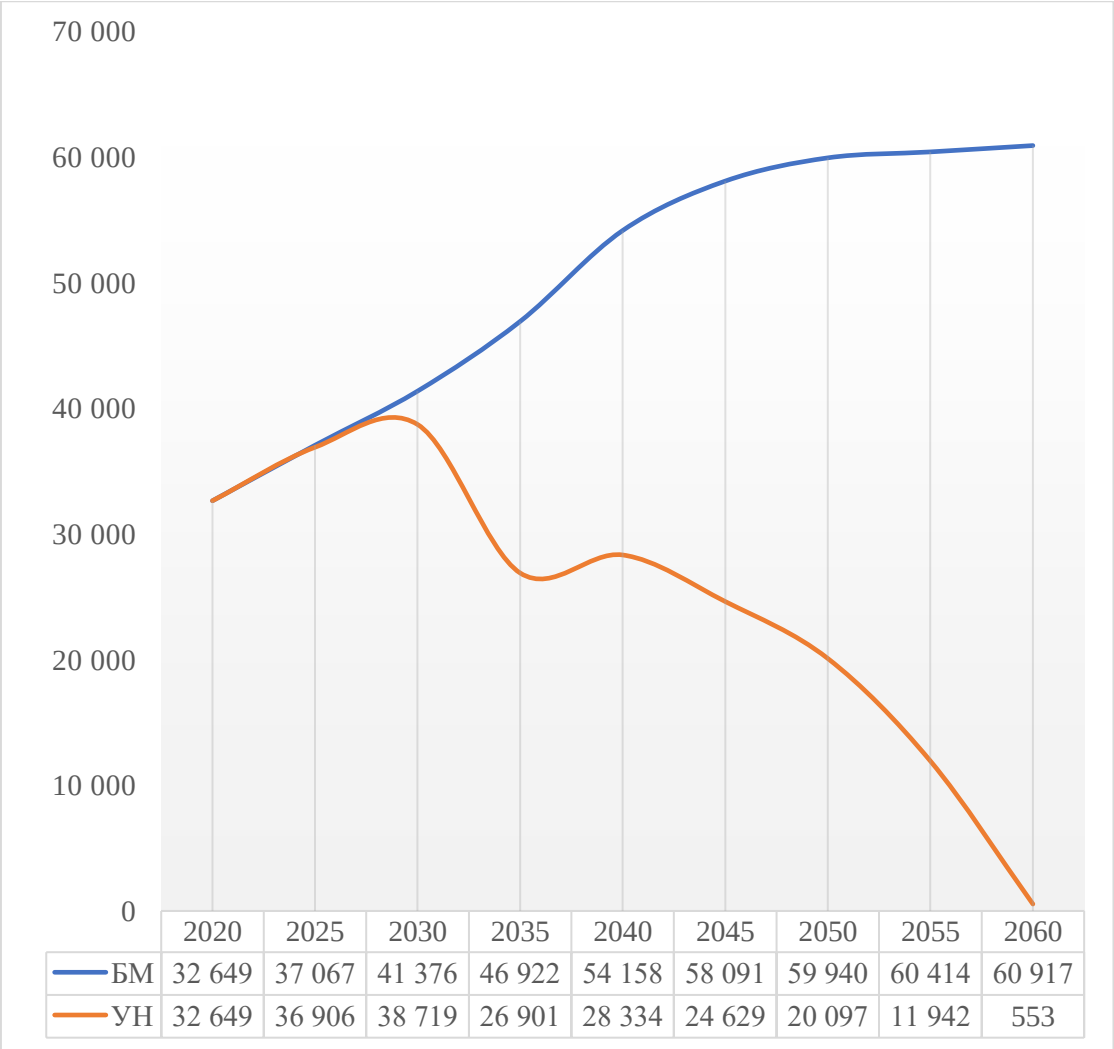
Рисунок 4.17 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в нефтепереработке, ктCO2экв

Сектор промышленности и строительства

Выбросы ПГ в промышленности и строительстве представлены ниже.

Как видно, из рисунка 4.18, выбросы ПГ по сектору промышленности и строительства растут в сценарии без мер, так как это связано с ростом экономики. Однако видно, что в сценарии углеродной нейтральности выбросы ПГ снижаются. Связано это с повсеместной электрификацией практически всех промышленных процессов, где это возможно. Помимо электрификации, также увеличивается использование водорода в процессах. Так появляются мощности по производству стали с использованием водорода. В предложенной технологии, железная руда восстанавливается водородом в твердом состоянии, с получением железа прямого восстановления, называемого губчатым железом. Затем губчатое железо подается в электродуговую печь (ЭДП), где электроды генерируют ток для плавления губчатого железа с получением стали.

В 2060 году, незначительные выбросы ПГ присутствуют в цементной отрасли и в цветной металлургии.



	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
БМ	32 649	37 067	41 376	46 922	54 158	58 091	59 940	60 414	60 917
УН	32 649	36 906	38 719	26 901	28 334	24 629	20 097	11 942	553

Рисунок 4.18 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в промышленности, ктCO2экв

Транспортный сектор

Выбросы ПГ в транспортном секторе представлены ниже.

Выбросы ПГ в сценарии без мер растут, что связано с ростом экономики и спросом на грузоперевозки и пассажироперевозки. В сценарии углеродной нейтральности выбросы ПГ снижаются до нуля за счет электрификации транспорта, а также за счет использование водорода в авиации, на железнодорожном и водном транспорте.

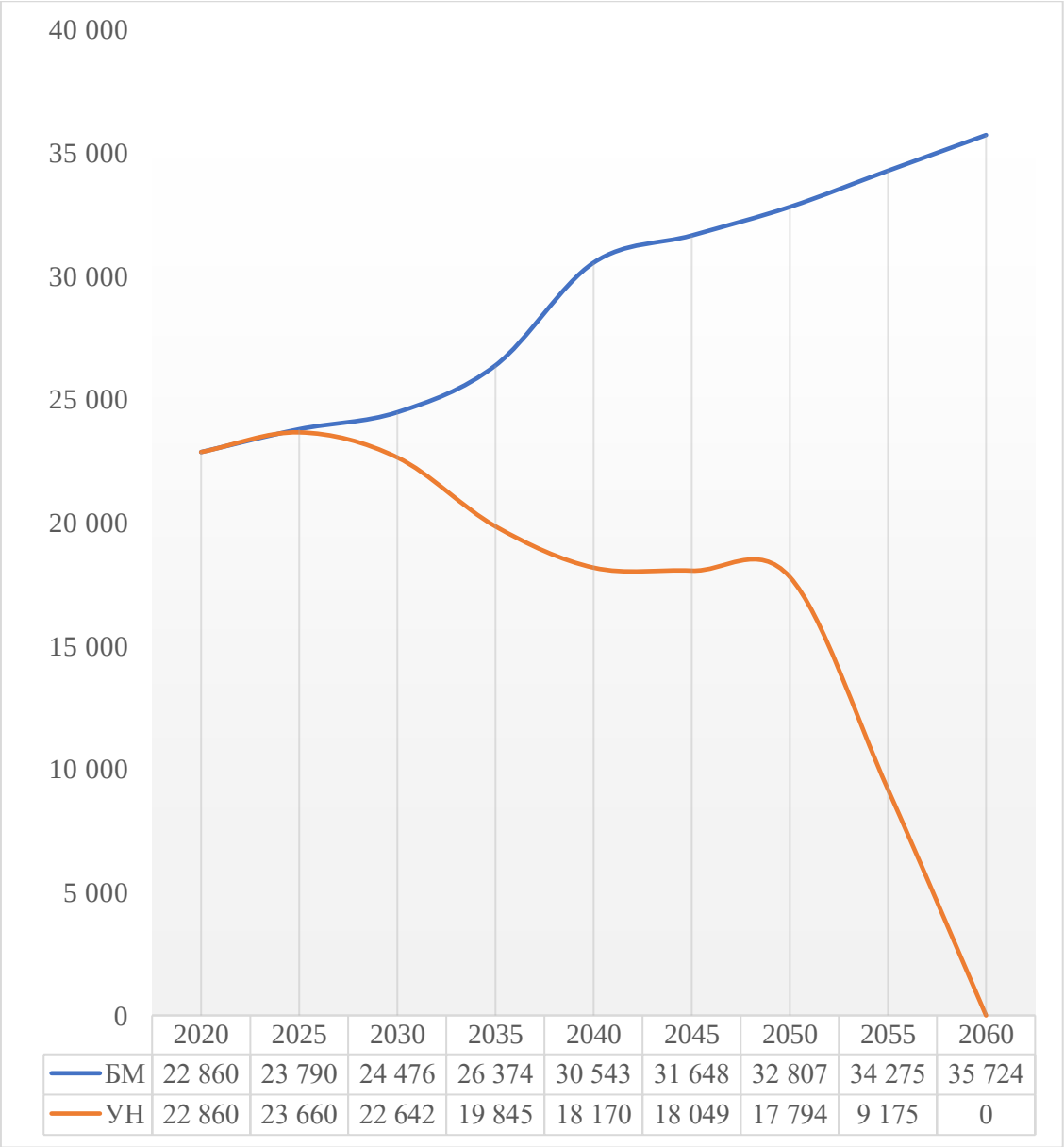


Рисунок 4.19 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в транспортном секторе, ктCO2экв

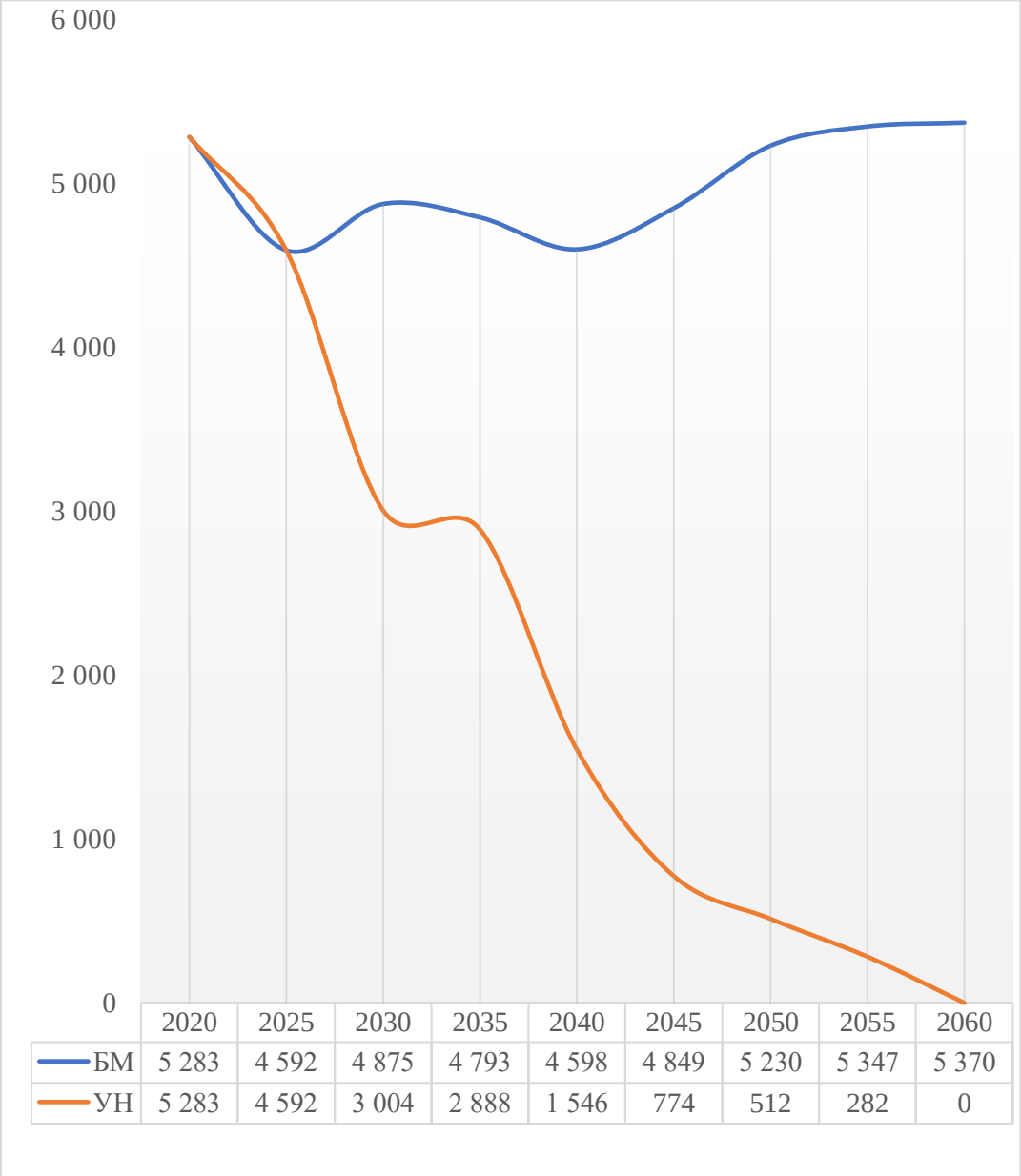
ЖКХ и сельское хозяйство

Выбросы ПГ в ЖКХ и в сельском хозяйстве приводятся ниже.

Коммерческий сектор

Ниже представлены выбросы ПГ по коммерческому сектору. Выбросы ПГ в коммерческом секторе снижаются в силу увеличения энергоэффективности используемых технологий и электрификации. Это позволяет стабилизировать на одном уровне выбросы ПГ в сценарии без мер

и снизить в сценарии углеродной нейтральности. Причем в последнем сценарии, наблюдается небольшое возрастание выбросов ПГ в период 2030-2035 годов в силу расширения использования природного газа для горячего водоснабжение. После 2035 года, горячее водоснабжение переходит на технологию с использованием энергии солнца для подогрева воды.



	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
БМ	5 283	4 592	4 875	4 793	4 598	4 849	5 230	5 347	5 370
УН	5 283	4 592	3 004	2 888	1 546	774	512	282	0

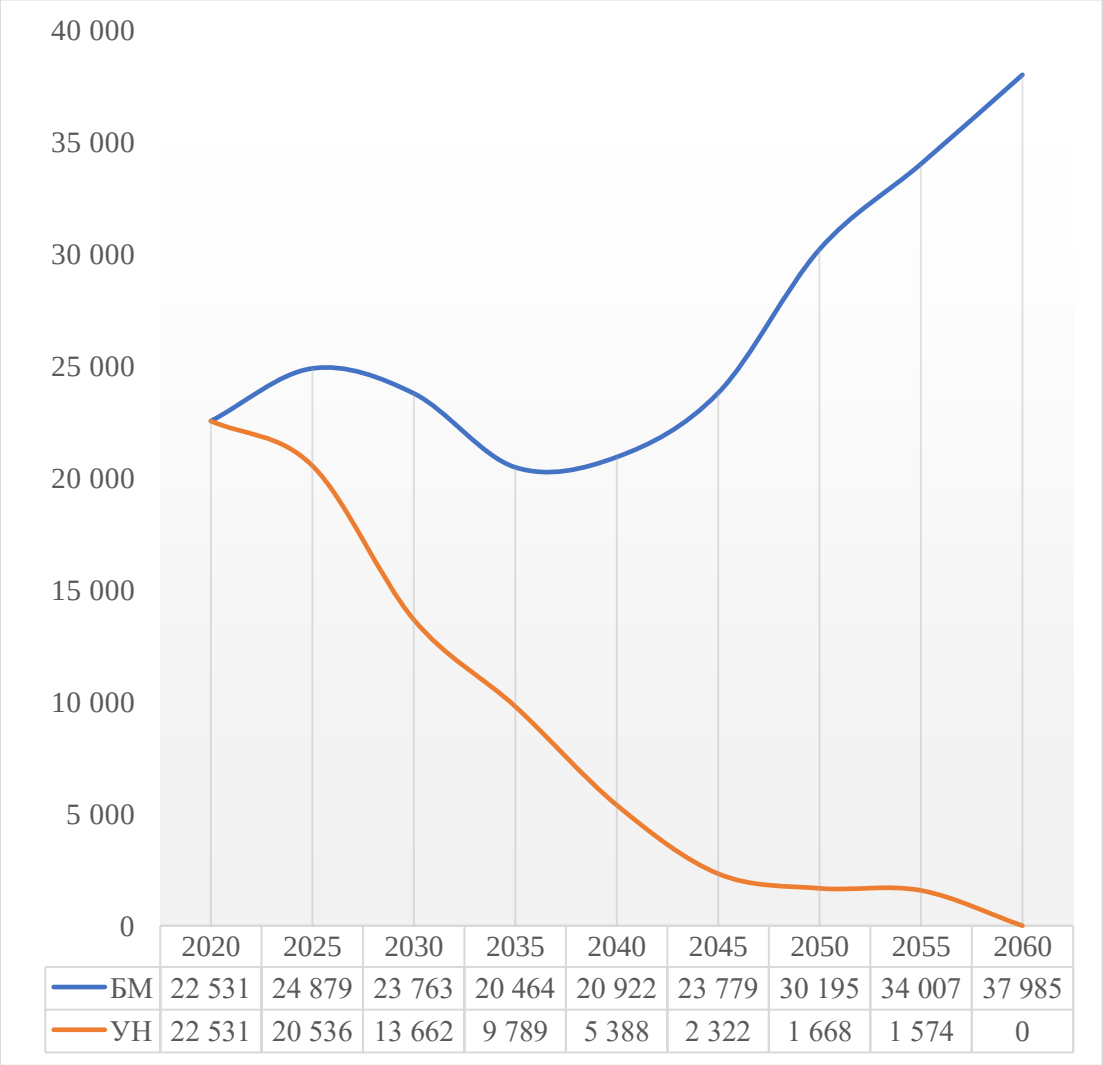
Рисунок 4.20 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в коммерческом секторе, ктCO2экв

Население (здания)

Ниже представлены выбросы ПГ по сектору населения (здания). В данном секторе в сценарии без мер выбросы ПГ к 2060 году возрастают, но

при этом имеется период снижения выбросов ПГ 2025-2040 годы и период дальнейшего возрастания с 2040 года по 2060 год. Здесь налицо влияние смены угля на природный газ в период снижения выбросов ПГ. Дальнейший рост выбросов связан с ростом спроса на энергию со стороны населения, что сопровождается как расширением газификации до конца периода, так и ростом использования угля.

В случае сценария углеродной нейтральности снижение выбросов ПГ сопровождается газификацией в среднесрочном периоде и возрастающей роли солнечной и геотермальной (тепловые насосы) энергией для целей декарбонизации.

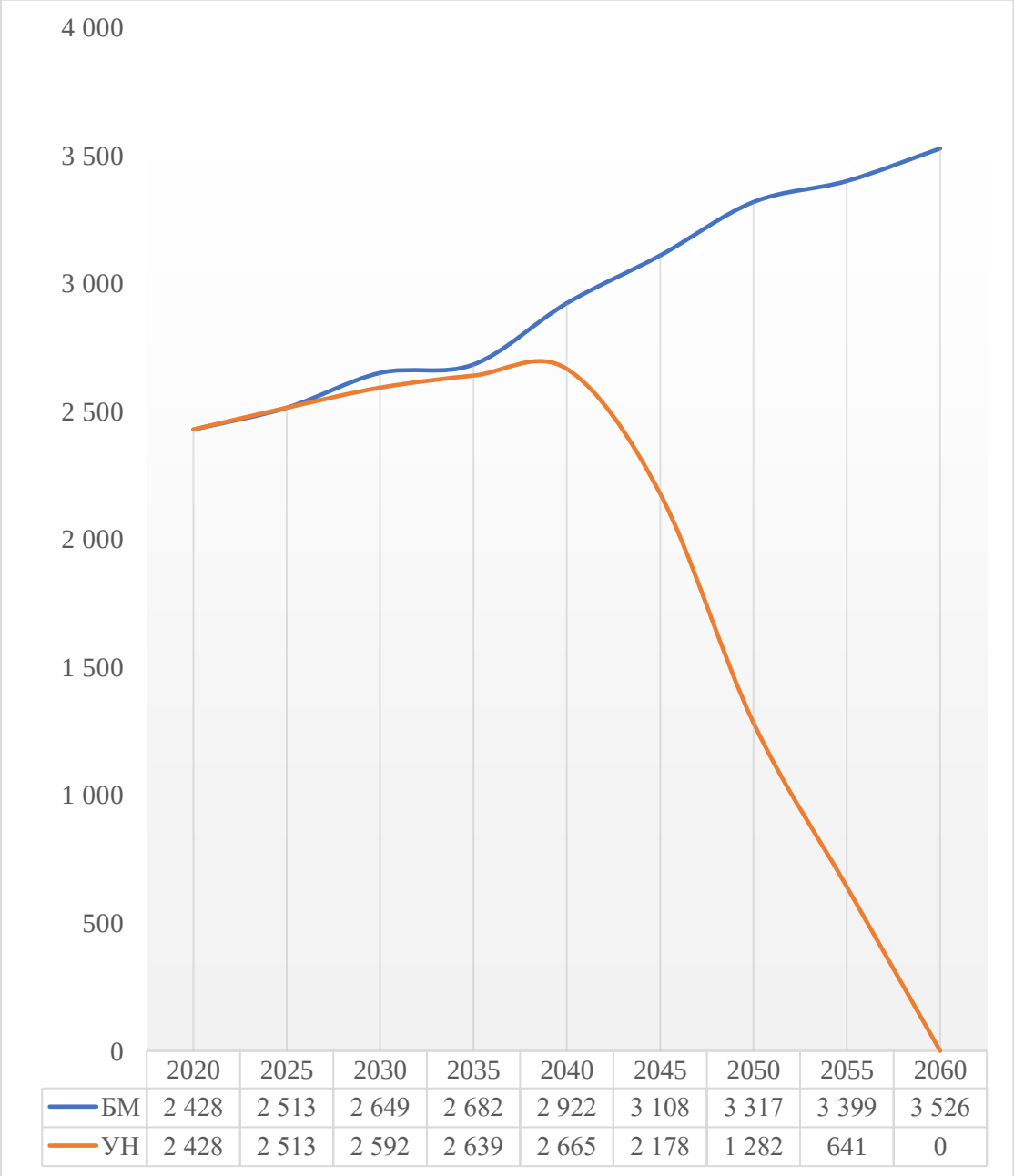


	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
БМ	22 531	24 879	23 763	20 464	20 922	23 779	30 195	34 007	37 985
УН	22 531	20 536	13 662	9 789	5 388	2 322	1 668	1 574	0

Рисунок 4.21 - Сценарии развития выбросов парниковых газов по населению, ктCO2экв

Сельское хозяйство

Ниже представлены выбросы ПГ по сельскому хозяйству. Выбросы ПГ в сельском хозяйстве растут в сценарии без мер в силу роста отрасли, как одной из важных для экономики страны и, соответственно, ростом использования нефтепродуктов в сельскохозяйственной техники. В сценарии углеродной нейтральности, в сельском хозяйстве все топливо переходит на биодизель полностью.



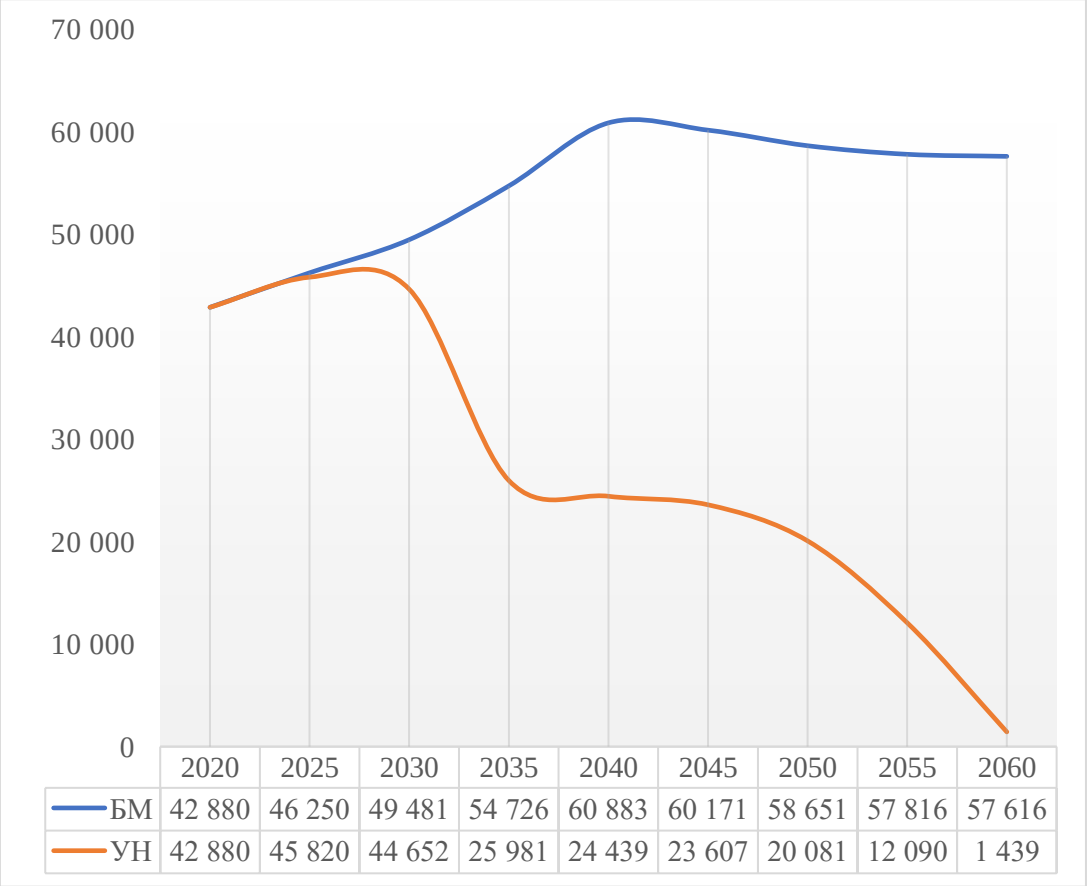
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
БМ	2 428	2 513	2 649	2 682	2 922	3 108	3 317	3 399	3 526
УН	2 428	2 513	2 592	2 639	2 665	2 178	1 282	641	0

Рисунок 4.22 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве, ктCO2экв

Сектор прочие

Выбросы ПГ в данном секторе относятся к тем выбросам, источники которых не идентифицированы и не распределены к соответствующим секторам. Связано это с тем, что не происходит полная отчетность по использованию топлива. В кадастре ПГ, который предоставляется в РКИК ООН, в описании к данному сектору приводится список энергопродуктов по которым наблюдаются выбросы и анализ возможного использования. Базируясь на данной информации, была предпринята попытка промоделировать данный сектор путем привязки данных выбросов к соответствующим видам активности. Так по твердому виду была привязка к деятельности, которая использует кокс, по жидкому виду привязка была к объёмам нефтепродуктов и по газообразному виду привязка была к использованию природного газа в системе.

Ниже приведены полученные выбросы ПГ по данному сектору. Как видно из рисунка в сценарии углеродной нейтральности достигается значительное снижение выбросов ПГ в силу снижения выбросов ПГ с использованием кокса, нефтепродуктов и природного газа.



	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
БМ	42 880	46 250	49 481	54 726	60 883	60 171	58 651	57 816	57 616
УН	42 880	45 820	44 652	25 981	24 439	23 607	20 081	12 090	1 439

Рисунок 4.23 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в секторе прочие, ктCO2экв

Выбросы парниковых газов в секторе летучих эмиссий

Выбросы ПГ по сектору летучих эмиссий зависят от политик и мер в других секторах.

Видно, что в сценарии без мер идет рост выбросов от летучих эмиссий как от всех видов.

В сценарии углеродной нейтральности, выбросы летучих эмиссий, связанных с твердым топливом, снижаются, следуя за сокращением использования угля. Летучие эмиссии от нефти и природного газа увеличиваются до 2045 года, то есть из-за газификации и затем падают значительно к концу прогнозного периода.

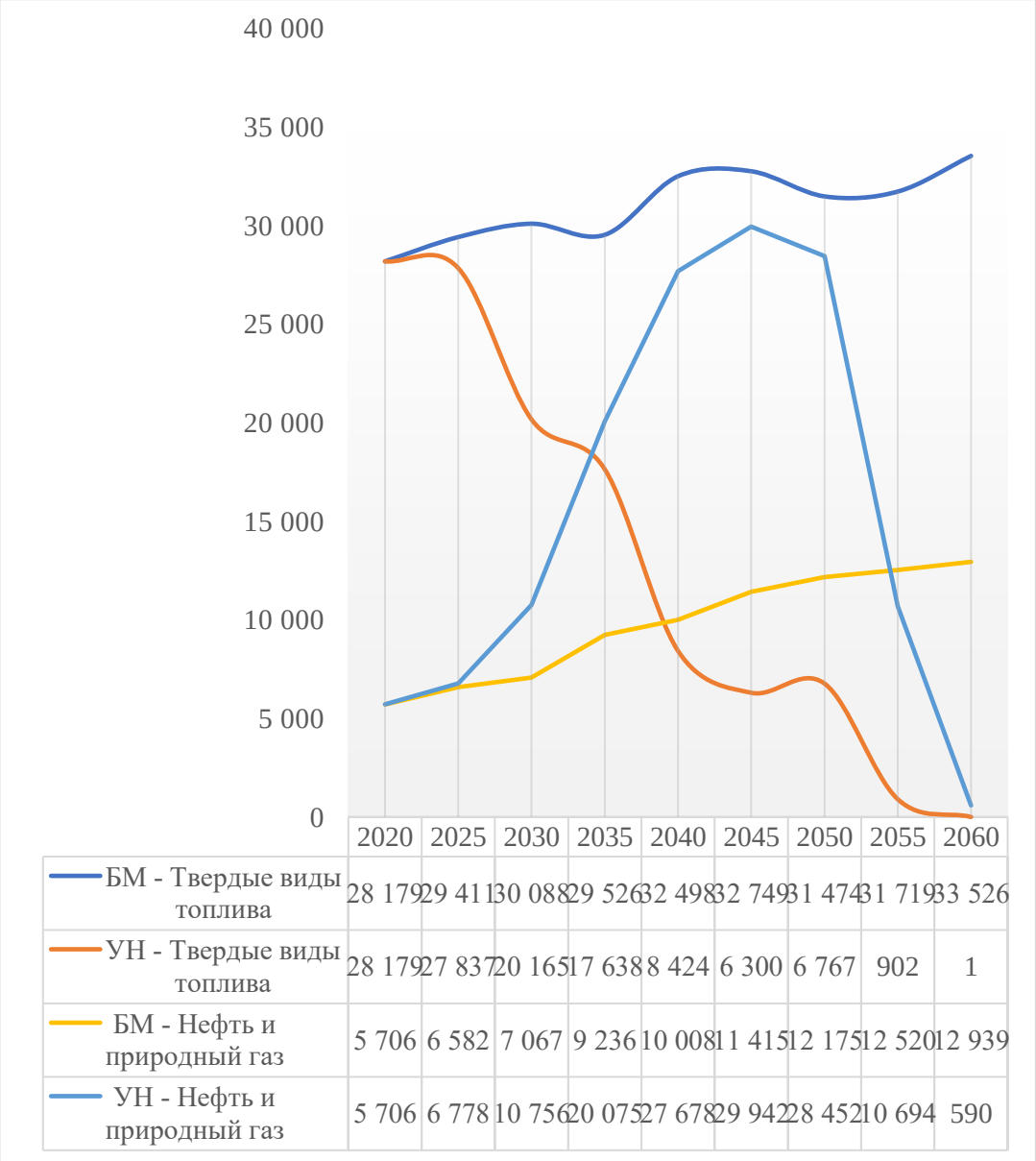


Рисунок 4.24 - Сценарии развития выбросов парниковых газов в секторе летучих эмиссий, ктCO2экв

Рекомендации

В процессе осуществления энергоперехода предусматривается реализация подходов по снижению выбросов ПГ, которые применимы для вышеуказанных секторов. Они будут включать в себя введение мер финансовой и налоговой политики, стимулирующих снижение антропогенных выбросов ПГ в углеродоемких отраслях экономики.

Будет оказана государственная поддержка в отношении внедрения, тиражирования и масштабирования безуглеродных технологий и технологий

с низким уровнем выбросов ПГ.

Будут изменены налоговые, таможенные и бюджетные политики с учетом вызовов развития с низким уровнем выбросов ПГ и учтены последствия для изменения баланса ПГ при осуществлении бюджетных расходов и инвестиций.

Важным направлением выступает принятие и реализация отраслевых и региональных планов по снижению выбросов. Необходимо установление отраслевых целей по переходу на развитие с низким уровнем выбросов ПГ и повышение энергетической и экологической эффективности в секторах экономики.

Будут применены стимулы по использованию вторичных энергетических ресурсов в производстве товаров и по поддержке и распространению технологий улавливания, захоронения и дальнейшего использования ПГ.

Будут разработаны механизмы стимулирования энергосбережения и внедрения низкоуглеродных и безуглеродных технологий.

Для успешной реализации энергоперехода необходимо формирование и развитие национального научного и инженерного потенциала.

Также необходимо развивать систему «белых» и «зеленых» сертификатов, систему публичной нефинансовой отчетности компаний и нормативную правовую базу для ускорения энергетического перехода.

Рисунок 4.25 и таблица 4.18 показывает прогнозные выбросы парниковых газов с 2020 по 2060 годы по секторам.

Таблица 4.18 – Прогнозные выбросы парниковых газов в сценарии декарбонизации, МтСО2экв.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2060
Производство электроэнергии	109,8	115,4	82,5	81,3	67,7	56,1	45,5	0
Производство теплоэнергии	14,1	14,0	12,4	9,8	4,8	2,1	0,59	0
Нефтепереработка	5,51	4,43	4,18	3,85	4,25	4,55	4,25	0,11
Промышленность	32,6	36,9	38,72	26,9	28,3	24,63	20,01	0,55
Транспорт	22,9	23,66	22,64	19,85	18,17	18,05	17,79	0
Коммерческий сектор	5,28	4,59	3,00	2,89	1,55	0,77	0,51	0
Население (здания)	22,53	20,54	13,66	9,79	5,39	2,32	1,67	0
Сельское хозяйство	2,43	2,51	2,59	2,64	2,67	2,18	1,28	0
Отходы	7,02	6,87	6,06	5,08	4,52	4,23	3,91	3,43

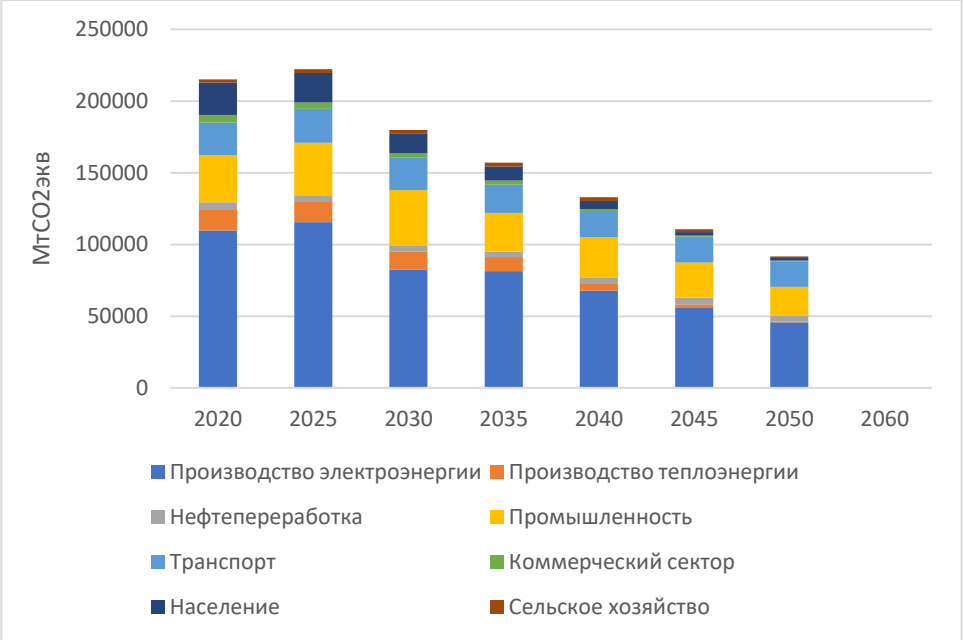


Рисунок 4.25 - Прогнозные выбросы парниковых газов в сценарии декарбонизации, МтCO2экв

Согласно результатам, в секторе производства электроэнергии выбросы

ПГ достигают нулевого значения, которое сопровождается ростом выработки электроэнергии к 2060 году почти чуть менее 5 раз, что говорит о важности электрификации для углеродной нейтральности. Причем наибольший рост происходит в последнюю декаду, почти в два раза: от 250,4 до 472 миллиардов кВт*ч. При этом большую роль играет возобновляемые и альтернативные источники энергии. В структуре выработки электроэнергии, сокращение доли угля в УН достигает нуля к 2060 году. Доля природного газа увеличивается к 2040 году затем уменьшается до нуля, что необходимо для промежуточного периода 2020 – 2050 годов и для достижения углеродной нейтральности к 2060 году. Атом играет большую роль в сценарии с углеродной нейтральности, во-первых, для электроэнергии, которая используется в конечных секторах потребления, так, и, во-вторых, для электроэнергии, которая используется для производства водорода.

В сценарии углеродной нейтральности, увеличение возобновляемых мощностей ведет к увеличению общей мощностей в большей мере чем традиционные виды электростанций в силу меньших коэффициентов использования установленной мощности. В сценарии углеродной нейтральности мощности увеличиваются в 7,7 раза к 2060 году. Причем около 100 ГВт в последнюю декаду – в период 2050-2060 годы: с 71.3 ГВт до 170.8 ГВт.

В секторе производства теплоэнергии, в сценарии углеродной нейтральности, выбросы ПГ от котельных снижаются до нуля к 2055 году. Данное снижение сопровождается переходом на природный газ с одновременным улучшением энергоэффективности, и затем переход происходит на отопление на тепловых насосах.

Выбросы ПГ в нефтепереработки снижаются в сценарии без мер до 2035 года, и затем увеличиваются. Снижение идет за счет снижения мазута для экспорта, увеличение за счет увеличения потребления того же мазута в более энергоэффективных процессах в промышленности. В сценарии углеродной

нейтральности, выбросы ПГ снижаются практически до нуля, повторяя динамику выбросов ПГ в транспортном.

Выбросы ПГ по сектору промышленности и строительства растут в сценарии углеродной нейтральности выбросы ПГ снижаются до незначительного уровня. Связано это с повсеместной электрификацией практически всех промышленных процессов, где это возможно. Помимо электрификации, также увеличивается использование водорода в процессах. Так появляются мощности по производству стали с использованием водорода. В 2060 году, незначительные выбросы ПГ присутствуют в цементной отрасли и в цветной металлургии.

Выбросы ПГ в транспортном секторе в сценарии углеродной нейтральности выбросы ПГ снижаются до нуля за счет электрификации транспорта, а также за счет использование водорода в авиации, на железнодорожном и водном транспорте.

Выбросы ПГ в коммерческом секторе снижаются в силу увеличения энергоэффективности используемых технологий и электрификации. Это позволяет снизить выбросы ПГ в сценарии углеродной нейтральности за счет использования природного газа для горячего водоснабжение до 2035 года и после 2035 года, горячее водоснабжение переходит на технологию с использованием энергии солнца для подогрева воды.

В секторе населения (здания) выбросы ПГ в сценарии углеродной нейтральности снижение выбросов ПГ до нуля сопровождается газификацией в среднесрочном периоде и возрастающей роли солнечной и геотермальной (тепловые насосы) энергией.

Выбросы ПГ в сельском хозяйстве в сценарии углеродной нейтральности снижаются за счет перехода дизельного топлива на биодизель полностью к 2060 году.

С точки зрения общих совокупных затрат для сельского хозяйства, сценарий углеродной нейтральности требует инвестиций в размере 42,55 млрд долларов США, в основном в целях внедрения органического сельского хозяйства, орошения и усовершенствования управления животноводством.

Сокращение выбросов и использования удобрений, прогнозируемое в сценарии углеродной нейтральности, способствует совокупному снижению ОСУ и затрат на химические удобрения в сценарии углеродной нейтральности на 5,46 млрд долларов США и 13,55 млрд долларов США соответственно. В обоих сценариях устойчивое сельское хозяйство и улучшенное орошение также способствуют сокращению потерь, понесенных в результате воздействия изменения климата. Хотя эти мероприятия способствуют сокращению потерь растениеводства, как описано выше, увеличение объема производства приводит, несмотря на сокращение потерь относительно общего объема производства, к дополнительному чистому убытку в размере 4,67 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год.

Совокупные дополнительные выгоды от реализации мероприятий, составляют 172,15 млрд долларов США в сценарии углеродной нейтральности на период с 2020 по 2060 год. В частности, 168,5 млрд долларов США получены за счет дополнительной прибыли от растениеводства, а 3,62 млрд долларов США - за счет дополнительных трудовых доходов.

Реализация задач по сектору транспорта, потребует чистых дополнительных инвестиций в размере 62,99 млрд долларов США в течение следующих 40 лет в сценарии углеродной нейтральности.

Предотвращенные затраты на здравоохранение, связанные с загрязнением воздуха, значительны и в совокупности составят 24,1 млрд долларов США в сценарии NZE в период с 2020 по 2060 год. Однако, хотя только стоимость заторов и ДТП несколько выше по сравнению с BAU, высокие первоначальные инвестиции в частные транспортные средства и более высокие затраты на электроэнергию перевешивают преимущества,

достигнутые на системном уровне. В целом прогнозы указывают на чистые дополнительные социальные издержки в размере 18,93 млрд долларов США в течение следующих 40 лет по сравнению со сценарием BAU.

По экономической оценке, в секторе отходов реализация целей, направленных на декарбонизацию в течение следующих 40 лет, по прогнозам, приведет к чистой экономии в размере 20,61 млрд долларов США.

В сценарии углеродной нейтральности, изложенные выше допущения, приводят к снижению инвестиций, необходимых для создания потенциала по управлению отходами, что дает экономию в размере 14,19 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год по сравнению с базовым уровнем. Производство компоста и пеллетов требует дополнительных инвестиций в размере 1,82 млрд долларов США по сравнению со сценарием без мер. В сценарии углеродной нейтральности изменение в управлении отходами приводит к сокращению общественных издержек на 2,43 млрд долларов США и приносит чистую выгоду в размере 3,99 млрд долларов США, несмотря на снижение занятости в секторе управления отходами. Чистые интегрированные выгоды для сценария углеродной нейтральности составят 20,61 млрд долларов США в период с 2020 по 2060 год.

Таким образом, исследование возможности достижения углеродной нейтральности показало достижимость значительного снижения выбросов ПГ при полном переходе на чистые виды энергии (возобновляемые и альтернативные), значительного увеличения энергоэффективных технологии и электрофикации всех процессов, где это возможно.

Заключение

В данном отчете были рассмотрены возможности по достижению углеродной нейтральности. Были рассмотрены сценарии «не предусматривающего принятие мер» и «углеродная нейтральность» на прогнозном периоде до 2060 года. Для оценки выбросов ПГ использовалась модель энергетической системы TIMES и SD - Системная динамика.

По полученным результатам, выбросы ПГ в сценарии без мер возрастают на всем прогнозном периоде. В сценарии углеродной нейтральности выбросы ПГ по всем секторам сокращаются с 382,04 в 2020 до 95,42 в 2050 и полное достижение углеродной йнейтральности в 2060 году. По главному сектору энергетике выбросы ПГ достигают уровня минус 20% к уровню выбросов ПГ в энергетике в 1990 году к 2030 году и далее до минуса 40%, 54% и 99% в 2040, 2050 и 2060 годах соответственно. В 2060 году уровень выбросов ПГ по энергетике в 2060 году составляет 2,7 млн тонн CO2-экв, которые связаны с цементной промышленностью, использованием природного газа для неэнергетических нужд и для производства водорода.

Глубокая декарбонизация в Казахстане возможна и экономически целесообразна. Это требует глубоких структурных изменений во всей экономике и мобилизации крупных инвестиций. Однако продолжение ведения сценария "без мер" будет связано с гораздо более высокими издержками как для экономики, так и для общества. Предлагаемые способы декарбонизации основаны на трех классических столпах: сокращение потребления, энергоэффективность и использование возобновляемых источников энергии.

Глубокая декарбонизация обходится дорого, но бездействие наносит ущерб национальному благосостоянию. Это создает необходимость выбора, особенно между текущим потреблением, обусловленным привычками, и инвестициями для обеспечения будущего благосостояния.

Список использованной литературы

1. Loulou, R., Goldstein, G., Noble, K., 2004. Documentation for the MARKAL Family of Models. ETSAP.

2. Loulou, R., Remne, U., Kanudia, A., Lehtila, A., Goldstein, G., 2005. Documentation for the TIMES Model - PART I 1–78.

3. IEA (2020), World Energy Outlook 2020, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020

4. IEA (2021), World Energy Outlook 2021, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021

5. IEA (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050

6. European Commission, Directorate-General for Climate Action, Directorate-General for Energy, Directorate-General for Mobility and Transport, De Vita, A., Capros, P., Paroussos, L., et al., EU reference scenario 2020: energy, transport and GHG emissions: trends to 2050, Publications Office, 2021, https://data.europa.eu/doi/10.2833/35750

7. Ruiz Castello P, Sgobbi A, Nijs W, Thiel C, Dalla Longa F, Kober T, Elbersen B, Hengeveld G. The JRC-EU-TIMES model. Bioenergy potentials for EU and neighbouring countries. EUR 27575. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2015. JRC98626

8. DEA web-site, The Danish Energy Agency, Catalogues of technology data for energy technologies, https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data

9. Samir KC, Wolfgang Lutz, The human core of the shared socioeconomic pathways: Population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100, Global Environmental Change, Volume 42, 2017, Pages 181-192, ISSN 0959-3780, https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004.

10. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

11. Sterman John D., 2000, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World.

12. Carg, C., Evans, D., 2011, What is the impact of noncommunicable diseases on National Health Expenditures: A synthesis of available data. Geneva: World Health Organization.

13. OECD, 2014, Energy subsidies and climate change in Kazakhstan. Organisation for Economic Co-operation and Development.

14. UNECE, 2019, Environmental Performance Review: Kazakhstan - Third review. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). doi:https://doi.org/10.18356/3f11007e-en.

15. Nordhaus, W. (2017). Revisiting the social cost of carbon. PNAS, vol. 11, no.7, 1518-1523.

16. Akhmetov, A. (2014). Health Effects of Coal: A Long-Run Relationship Assessment of Coal Production and Respiratory Health in Kazakhstan. Energy and Environment Research; Vol. 4, No. 3, 138-146.

17.Национальный доклад о кадастре парниковых газов Казахстана. 2017-2020

18. Kazenergy, 2021, National Energy Report 2021, Kazenergy, Nur-Sultan.

19. UNFCCC (2020), Kazakhstan. 2022 Common Reporting Format (CRF) Table. https://unfccc.int/documents?f%5B0%5D=country%3A1379&f%5B1%5D=document_type%3A4147.

20. Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724

21. https://stat.gov.kz/