

ОПЫТ РАЗВИТЫХ СТРАН ПО ВНЕДРЕНИЮ ЗЕЛЁНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОНОМИКУ

Рустамов Зокир Тоирович

Ведущий специалист Институт макроэкономических и
региональных исследований

E-mail: zokir.toirovich@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается опыт ведущих развитых стран (Германия, США, Япония, Республика Корея, Канада и Европейский Союз) по внедрению зелёных технологий в экономику в период 2015–2025 гг. Особое внимание уделено секторам энергетики, транспорта, промышленности и сельского хозяйства. На основе официальных статистических данных международных и национальных организаций (Eurostat, IEA, EIA, Umweltbundesamt, METI/ANRE, Natural Resources Canada и др.) проведён сравнительный анализ динамики декарбонизации, масштабов инвестиций, структурных преобразований и регуляторных подходов. В статье представлены визуализации: динамика доли возобновляемой энергетики, распространение электромобилей, структура энергопотребления Канады и мировые инвестиции в энергетику. Сделан вывод о том, что наиболее эффективной является комплексная комбинация углеродного регулирования, экономических стимулов, технологических инноваций и социальной политики. Отмечены трудности (стоимость перехода, инфраструктурные ограничения, социальное сопротивление) и возможности для адаптации данного опыта в других странах.

Ключевые слова: зелёная экономика, возобновляемая энергетика, электромобили, климатическая политика, углеродное регулирование, инвестиции в энергетику, опыт развитых стран.

Introduction

Введение

За последнее десятилетие (2015–2025 гг.) ведущие развитые страны сделали существенные шаги в переходе к «зелёной» экономике – внедрению технологий, снижающих вредное воздействие на окружающую среду. Декарбонизация энергосистемы, электрификация транспорта, повышение энергоэффективности промышленности и устойчивое сельское хозяйство стали ключевыми направлениями государственной политики в таких странах, как Германия, США, Япония, Республика Корея, государства Европейского Союза и Канада. Эти страны инвестируют в возобновляемые источники энергии, стимулируют использование электрического транспорта, вводят углеродное ценообразование (налоги или торговлю квотами) и принимают законы, устанавливающие жёсткие экологические стандарты. Ниже представлен анализ опыта развитых стран по внедрению зелёных технологий в основных

секторах экономики за последние 10 лет с опорой на официальные данные и статистику международных организаций, а также сравнительный обзор политики и её результатов. Развитые страны достигли значительного прогресса в переходе на чистые источники энергии. Европейский Союз выступил лидером: к 2023 году возобновляемые источники (ветер, солнечная энергия, гидро- и биоэнергетика) генерируют 44,3% электроэнергии в среднем по ЕС¹, причём Германия и Испания впервые превысили рубеж 50% доли ВИЭ в выработке (52,4% и 50,1% соответственно). Многие страны Европы за десятилетие удвоили проникновение возобновляемой энергетики. Например, в Германии переход *Energiewende* обеспечил рост доли зелёной электроэнергии с ~30% в 2015 до более 52% в 2023 году, благодаря масштабному вводу ветровых и солнечных мощностей и стимулирующим тарифам. Германия последовательно выводит из эксплуатации угольные ТЭС (полный отказ от угля планируется не позднее 2030–2038 гг.) и уже закрыла последние атомные электростанции в 2023 году, компенсируя мощности возобновляемыми источниками. Цель Германии – достичь 80% ВИЭ в электрообеспечении к 2030 году, для чего приняты законы, ускоряющие выдачу разрешений и расширение сетей для новых ВИЭ-парков². В целом по Европе климатическая политика опирается на директивы ЕС по возобновляемой энергии и систему торговли выбросами (EU ETS), что создает экономические стимулы к уходу от ископаемого топлива. Европейское энергетическое агентство отмечает, что благодаря этим мерам энергетические связанные с электроэнергетикой выбросы CO₂ в ЕС неуклонно снижаются, несмотря на рост экономики.

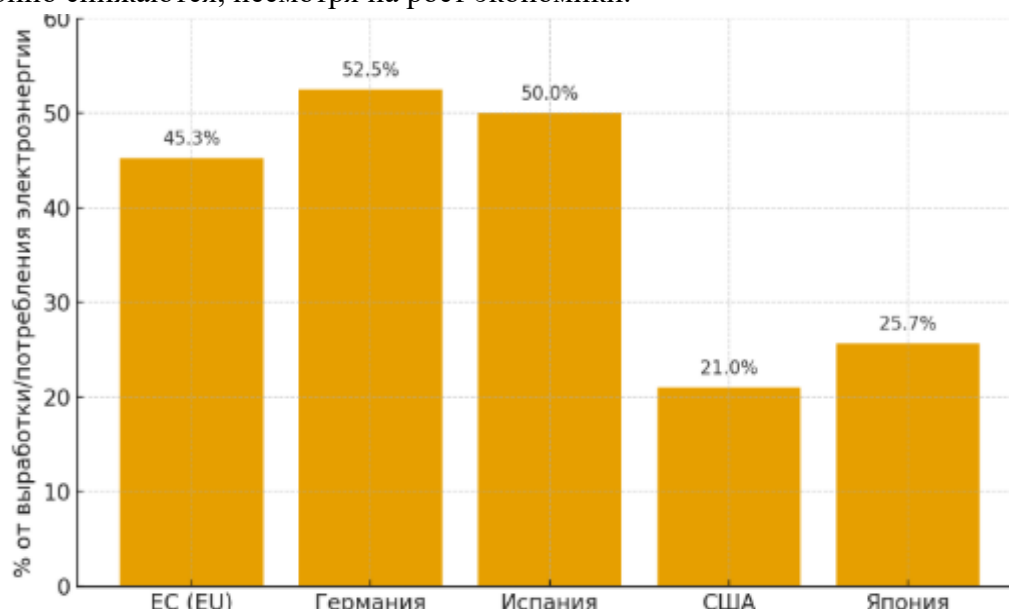


Рисунок 1 Доля электроэнергии из возобновляемых источников в потреблении, 2023 г.
(источник: Eurostat).

¹ <https://www.asahi.com/ajw/articles/15305067>

² <https://www.iea.org/countries/germany>

Обзор литературы.

Классической «эталонной» работой по проверке эффективности углеродного налога считается исследование Андерссона об опыте Швеции, опубликованное в *American Economic Journal: Economic Policy*. Эксплуатируя квази-экспериментальную идентификацию, автор показывает, что введение углеродного налога существенно снизило выбросы CO₂ в транспортном секторе; оценка порядка –6–8% сопоставима по масштабу с последующими репликациями (и даже несколько занижает эффект). На межстрановой панели Рафати, Долфин и Претис получают, что ценообразование на углерод в среднем снижает темпы роста выбросов на 1–2,5 п.п. с наибольшим эффектом в электро- и теплосекторе — один из первых глобальных квази-экспериментальных результатов с эластичностями по цене/тону CO₂.

В отношении EU ETS свежая фирменно-уровневая работа Кольмера, Муульса, Мартина и Вагнера в *Review of Economic Studies* демонстрирует, что система торговли квотами в ЕС привела к реальным (глобальным) сокращениям выбросов без заметной потери выпуска, а фирмы адаптировались через инвестиции в энергоэффективность и снижение углеродоёмкости продукции (отсутствуют признаки «утечки» через перенос производства). Эти результаты согласуются с растущим массивом работ по ETS и новостями об ускорившемся падении эмиссий под «колпаком» схемы в 2023–2024 гг. На микро-данных по Швеции Мартинссон и соавт. дополнительно показывают долговременный эффект углеродной цены на интенсивность выбросов на заводском уровне, что укрепляет внешнюю валидность «налоговых» результатов Андерссона. Методологической опорой служит мета-обзор Рубина и соавт. (*Energy Policy*), систематизирующий темпы обучения для 11 электроэнергетических технологий и тем самым задающий «бенчмарк» для оценок снижения издержек PV/ветра/СХН и пр.. Прорывным стал подход Уэя и соавт. (*Joule*): вероятностные прогнозы на основе статистически валидированных кривых обучения для >50 технологий показывают, что быстрый зелёный переход с большой вероятностью дешевле сохранения ископаемой системы за счёт «наката» обучения и масштаба (особенно PV, батареи, электролизёры). Отдельной «мостовой» работой между академией и политикой стала монография Намета (*How Solar Energy Became Cheap*), объясняющая, как комбинация НИОКР, рыночного стимулирования и глобальной конкуренции породила «крутые» кривые обучения фотоэлектрики — уроки, переносимые на водород, батареи и др. чистые технологии.

Анализ и результаты.

В Соединённых Штатах прогресс также заметен, хотя исходные условия отличались. За последние 10 лет США значительно увеличили выработку энергии из ветра и солнца: в 2023 году 22,7% электроэнергии в стране было получено из возобновляемых источников (включая гидроэнергию), тогда как ещё в 2010-х этот показатель колебался в пределах 13–15%. Особенно быстрый рост пришёлся на солнечную энергетику: производство солнечной электроэнергии в США росло в среднем двузначными темпами ежегодно и к концу 2023 г. достигло 5,6% от генерации, сравнявшись по объёму с традиционной гидроэнергией. Ветер обеспечил около 10% выработки. Одновременно доля угля в

электроэнергии снизилась до ~15–16% (для сравнения, в 2010 г. превышала 40%). Таким образом, возобновляемая энергетика обогнала по производству электроэнергии уголь и даже атомную энергетику в США, уступая лишь природному газу (42% в 2023 г.)³. Стимулом послужили как рыночные факторы (удешевление ВИЭ-технологий), так и политика: многие штаты ввели стандарты портфеля возобновляемой энергии, а на федеральном уровне в 2022 г. принят Закон об уменьшении инфляции (IRA), направивший \$369 млрд на чистую энергетику и инфраструктуру. По оценкам Международного энергетического агентства (IEA), инвестиции в «чистую» энергетику в США и других развитых экономиках сейчас в 12 раз превышают инвестиции в ископаемые источники, что свидетельствует о кардинальном смещении приоритетов в энергетическом секторе⁴.

В Канаде энергетический баланс традиционно имеет низкоуглеродный характер благодаря обилию гидроресурсов. Более 80% электроэнергии в Канаде вырабатывается без выбросов парниковых газов – главным образом за счёт гидроэнергии (~60%) и атомной энергии (~14%), остальное – ветер, солнечные станции и биомасса. В 2015–2025 гг. Канада нарастила мощности ветроэнергетики (5,5% электрогенерации в 2020 г. и солнца, а также приняла курс на полное избавление от угольной генерации к 2030 году⁵. Правительство утвердило цель — к 2030 году 90% электроэнергии из безуглеродных источников. Для реализации этой задачи вводятся стандарты чистой электроэнергии и существенные инвестиции в модернизацию сетей и накопители энергии. Особенностью канадского подхода является всеобъемлющее ценообразование на выбросы CO₂: с 2019 г. действует федеральная система платы за выбросы углерода, ставка которой ежегодно повышается на 15 CAD и достигнет 170 канадских долларов за тонну CO₂ к 2030 г.. Это создает дополнительный стимул для энергокомпаний переходить на ВИЭ и повышать эффективность⁶.

Япония за последнее десятилетие также увеличила выработку возобновляемой электроэнергии, но остаётся позади Европы. По официальным данным, в 2023 финансовом году на возобновляемые источники пришлось ~25,7% электроэнергии Японии – это более чем вдвое выше уровня 2011 г. (около 10%), достигнутого благодаря *Feed-in Tariff*, введённому после аварии на Фукусиме. Рост в основном обеспечен солнечной энергетикой, на которую приходится свыше 11% электроэнергии, тогда как ветровая энергетика остаётся слабо развитой (около 1%). Япония пока отстаёт от мирового тренда: её 25% доля ВИЭ ниже среднемирового показателя больше 30% и значительно уступает Европе⁷. Правительство планирует довести долю возобновляемых источников до 36–38% к 2030 г., опираясь на стимулирование крупномасштабных солнечных парков и особенно развитие морской ветроэнергетики (сейчас почти

³ <https://renewablesnow.com/news/renewables-end-2023-providing-22-7-percent-of-us-electrical-generation-849763/>

⁴ <https://www.canarymedia.com/articles/clean-energy/global-investment-fossil-fuels-2025#>

⁵ <https://www.climatecorecard.org/2024/09/82-of-canadas-electricity-came-from-non-greenhouse-gas-emissions-emitting-sources-in-2022/>

⁶ <https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2021/09/five-things-to-know-about-carbon-pricing-parry#>

⁷ <https://www.asahi.com/ajw/articles/15305067>

неразвитой). Одновременно Япония возобновляет работу ядерных реакторов: в 2024 г. атомная генерация выросла до ~8% вследствие повторного запуска ряда реакторов. Таким образом, японская стратегия включает сочетание возобновляемой и атомной энергии для сокращения доли ископаемого топлива (сейчас ~69% генерации). Тем не менее, эксперты отмечают, что японские цели по ВИЭ скромнее, чем у других развитых стран, и могут помешать стране догнать лидеров перехода. Причины включают ограниченные земельные ресурсы, медленные разрешительные процедуры и исторический упор на ископаемое топливо.

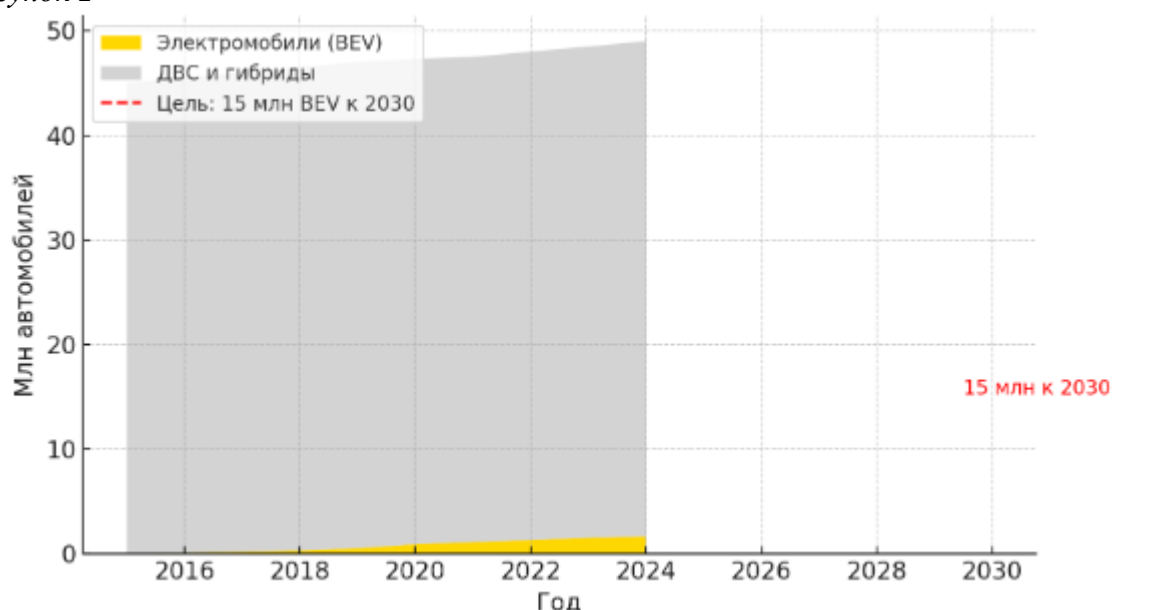
Республика Корея (Южная Корея) за 2015–2025 гг. также начала переход к чистой энергетике, однако исходно доля ВИЭ была крайне мала и остаётся низкой в сравнении с другими странами ОЭСР. Правительство РК запустило собственную систему торговли квотами на выбросы CO₂ (K-ETS) с 2015 года – одну из первых в Азии – что обязало электроэнергетические и промышленные компании учитывать углеродные издержки. В период 2017–2021 гг. предыдущая администрация провозгласила «Зелёный новый курс», планируя к 2030 г. довести долю возобновляемой генерации до 20%. В результате мощность солнечных и ветряных электростанций увеличилась (солнечная энергетика особенно активно развивалась в сельских районах). Однако совокупная доля возобновляемых источников в электроэнергии Южной Кореи остаётся однозначной (порядка 8–9% в 2023 г.). Новое правительство пересмотрело планы и отложило достижение цели 30% ВИЭ: согласно 10-му базовому плану, 30% «новой и возобновляемой» электроэнергии намечено только к 2036 г. (вместо 2030)⁸. При этом курс сделан на развитие атомной энергетики: в 2022–2023 гг. введён новый реактор, продлено время работы существующих, а экспорт ядерных технологий провозглашён приоритетом. Причиной замедления ввода ВИЭ называется нехватка сетевой инфраструктуры и систем хранения энергии для интеграции большого количества переменной генерации. Таким образом, опыт Республики Корея подчёркивает важность *сбалансированного развития сетей и накопителей* параллельно с ростом доли возобновляемых источников, чтобы обеспечить надёжность энергосистемы.

Во всех рассмотренных странах наблюдается уверенный рост доли чистой энергетики за десятилетие. Ведущие экономики реализовали масштабные инвестиции в зелёную энергетику, причём глобально объём *капиталовложений* в чистую энергетику в 2023 г. достиг \$1,7 трлн в год, что почти вдвое превышает инвестиции в ископаемую энергетику (~\$1 трлн). Эта тенденция отражает как снижение стоимости технологий (солнечных панелей, ветротурбин, батарей), так и укрепление политики поддержки. Законодательно страны закрепляют цели по долям ВИЭ (ЕС – 42,5% в конечном энергопотреблении к 2030 г., Япония – 36–38% в электроэнергии и т.д.), вводят *стимулирующие тарифы*, аукционы на строительство ВИЭ, субсидии и налоговые льготы. Одновременно через углеродное регулирование (углеродные налоги и торговлю квотами) создаются рыночные условия, при которых уголь и газ теряют конкурентоспособность. Например, цена CO₂-квоты в ЕС превысила €50/тонну в 2021 г. и продолжает расти, а Германия

⁸ <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/south-korea-energy-carbon-neutrality-initiatives#>

ввела национальный углеродный сбор на топливо для отопления и транспорта. Канада и некоторые штаты США также установили прямые налоги на выбросы⁹. Всё это ускоряет отказ от углеводородов в энергетике. Сложности, тем не менее, остаются: обеспечение стабильности энергоснабжения при высокой доле ВИЭ требует инвестиций в сети и накопители, а кризис 2022 г. (скачок цен на газ из-за геополитики) показал уязвимость при медленном сокращении спроса на газ. Тем не менее, опыт развитых стран демонстрирует, что энергопереход экономически осуществим, а возобновляемая энергетика стала основной для роста генерации во второй половине 2010-х – первой половине 2020-х годов.

Рисунок 2



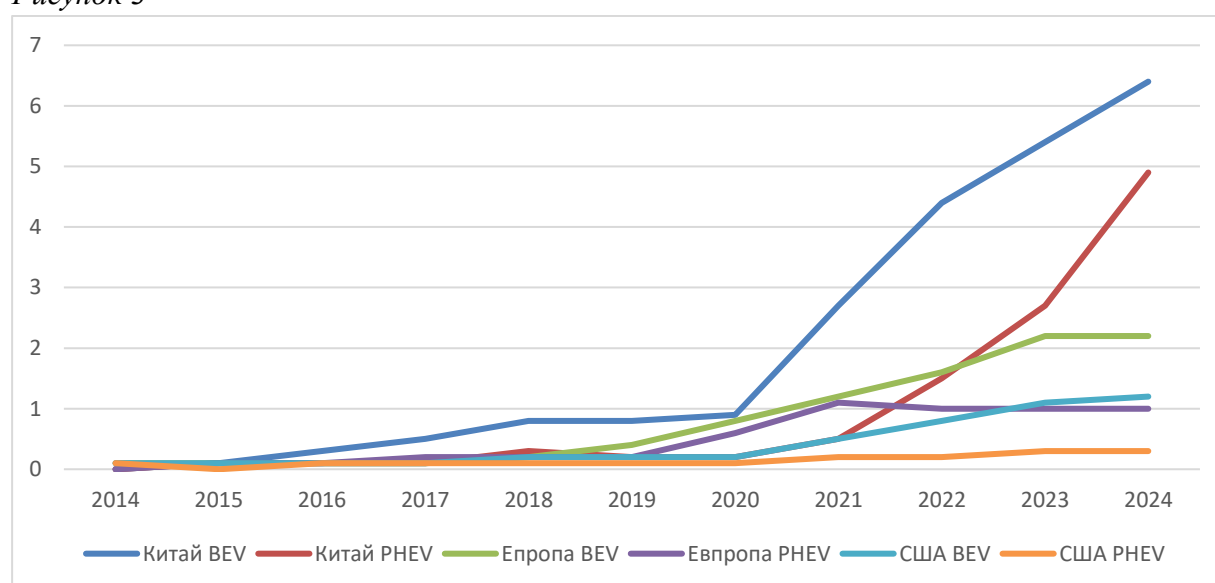
Парк автомобилей в Германии по типу топлива, 2015–2024 гг. (данные: Федеральное автотранспортное ведомство КВА, 2025).

В Европейском Союзе благодаря строгим стандартам выбросов для автомобилей и щедрым стимулам продажи электромобилей выросли с долей меньше 1% в середине 2010-х до примерно 20% от новых продаж в 2024 году (среднее по ЕС). Некоторые страны ЕС лидируют глобально: Норвегия (не входящая в ЕС, но европейская страна) практически достигла 100% продаж новых авто с нулевым выхлопом (88% – чисто батарейные EV в 2024 г.), в Дании – 56%, в Великобритании – 30%. В Евросоюзе крупнейшие рынки – Германия, Франция – тоже увеличили долю электромобилей, хотя в 2024 г. наблюдалась некоторая стагнация из-за сокращения субсидий. Так, Германия в 2023 году достигла около 18% доли электромобилей среди новых продаж, но к 2024 г. рост приостановился: после отмены государственных премий в конце 2023 г. продажи BEV даже упали на 27%, и лишь каждый седьмой новый автомобиль был полностью электрическим. Тем самым, Германия пока отстаёт от своей цели – 15 млн электромобилей на дорогах к 2030 г., имея лишь 1,65 млн накопленно к началу 2025 г. (см. рис. 2). Другие европейские страны, например Франция, также приблизились к 15–

⁹ <https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2021/09/five-things-to-know-about-carbon-pricing-parry#>

20% новых EV, хотя темпы зависят от национальных программ поддержки. ЕС применяет *комбинацию мер*: жёсткие нормативы CO₂ для автопроизводителей (штрафы за превышение средних нормативов, вынуждающие продавать EV), финансовые стимулы (субсидии, налоговые льготы для покупателей EV), развитие зарядной инфраструктуры. В 2023 г. принято историческое решение: запрет регистрации новых автомобилей с ДВС с 2035 года во всём Евросоюзе (с некоторыми исключениями для синтетического топлива), что задаёт долгосрочный сигнал отрасли. Эти меры принесли результат: транспортные выбросы в ЕС, ранее не снижавшиеся, начали стабилизироваться, а в Норвегии, например, рост электромобилей уже сократил потребление нефтепродуктов в дорожном секторе на 12% с 2021 г.

Рисунок 3



Мировая продажа электромобилей, 2014-2024 (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle, HEV – Hybrid Electric Vehicle)

Соединённые Штаты Америки исторически отставали от Европы в электрификации транспорта, но последние годы принесли заметный прогресс. В 2023 году доля электромобилей в продажах новых машин в США приблизилась к 8–9% (против ~2% в 2018 г.) – то есть примерно каждый двенадцатый проданный автомобиль. Объём продаж EV быстро растёт: в 2024 г. в США было продано около 1,6 млн электромобилей, что примерно втрое больше, чем двумя годами ранее. Стимулом стал комплекс федеральных льгот: закон 2022 г. (IRA) ввёл налоговые кредиты до \$7500 на покупку американских электромобилей, субсидирует строительство заводов батарей и сборку EV в США. Также крупные штаты (Калифорния, Нью-Йорк и др.) установили собственные мандаты на продажу 100% новых автомобилей с нулевым выбросом к 2035 г., синхронизируясь с ЕС. Благодаря этим мерам, автопроизводители наращивают линейки электромоделей, и даже при снижении некоторых субсидий общий тренд остаётся положительным. Предполагается, что в 2025 г. доля EV в США превысит 15%. Однако, в отличие от Европы, где дорогой бензин и экологическое регулирование сильно мотивируют потребителей, в США рост частично сдерживается относительно низкими ценами на

топливо и предпочтением пикапов/SUV. Тем не менее, перспективы улучшились: инфраструктурный закон 2021 г. выделил \$7,5 млрд на установку сети быстрых зарядных станций по стране, а крупные компании инвестируют в расширение производства. Таким образом, США продемонстрировали, что *финансовые стимулы и стандарты чистого топлива* могут за короткий срок ускорить электрическую революцию даже там, где она началась позже.

Япония и Южная Корея пока сильно отстают в электрификации автопарка по сравнению с Западом. В Японии автопром традиционно делал ставку на гибридные технологии (Toyota Prius и др.), а не на чисто батарейные EV, и доля новых электромобилей до недавнего времени была мизерной (около 1% в 2020 г.). В 2023 году ситуация начала меняться – продажи EV в Японии более чем удвоились, но всё ещё составляют лишь несколько процентов рынка. Правительство Японии поставило цель к середине 2030-х перевести 100% продаж новых автомобилей на «электрифицированные» (включая гибриды), однако массовому внедрению Battery Electric Vehicles мешают нехватка зарядных станций и высокая стоимость батарей. Тем не менее, японские автоконцерны (Nissan, Toyota) объявили о планах выпуска десятков новых EV-моделей к 2030 г., реагируя на мировые тенденции.

Республика Корея имеет крупную автомобильную промышленность (Hyundai, Kia), выпускающую и конкурентоспособные электромобили, но на внутреннем рынке внедрение идёт умеренными темпами. В 2022 г. доля EV в новых продажах достигала ~9,5%, однако в 2023 г. снизилась до ~8,4% – частично из-за сокращения субсидий и ориентации местных производителей на экспорт EV за рубеж. Южнокорейское правительство субсидирует покупку электромобилей и водородных машин, развивает зарядную и водородную инфраструктуру, однако высокая урбанизация (многоэтажное жильё затрудняет домашнюю зарядку) и популярность общественного транспорта несколько снижают потребность населения пересаживаться на личные EV. Тем не менее, планируется ускорение: поставлена цель иметь 4,5 млн электромобилей и 15% долю EV к 2030 году, а также активно развивать водородный транспорт (топливные элементы) как альтернативу для грузовиков и автобусов.

В Европейском Союзе сельское хозяйство составляет ~10% всех выбросов парниковых газов. За период 2015–2025 наблюдается незначительное снижение сельскохозяйственных эмиссий – порядка нескольких процентов. По данным Европейского агентства по окружающей среде, с 2005 по 2022 гг. выбросы сельского хозяйства в ЕС упали всего на ~5%, и ещё на ~2% ожидается снижение в 2023 г.. Эти скромные результаты указывают на трудности: стандартные подходы (эффективность) дают ограниченный эффект, и без дополнительных мер прогнозируется даже рост агро-выбросов к 2030 г.. В связи с этим ЕС интегрирует климатические цели в Общую сельскохозяйственную политику (CAP). Новая CAP (2023–2027) предусматривает выплаты фермерам за *климатически дружественные практики*: сокращение использования азотных удобрений, переход на органическое земледелие, улучшение управления навозом. Основные источники эмиссий – метан от жвачных животных и закись азота от минеральных удобрений – адресуются через специальные программы.

США и Канада также начали уделять внимание климату в сельском хозяйстве. В 2021 г. администрация США объявила инициативу «Климатически разумное сельское хозяйство», выделив миллиарды долларов на поддержку фермеров, применяющих практики накопления углерода в почве (no-till обработка земли, покровные культуры, агролесоводство). Министерство сельского хозяйства США (USDA) запустило пилотные проекты «углеродных банков», где фермеры получают выплаты за сокращение или поглощение определённого объёма CO₂. Хотя национального регулирования прямых аграрных выбросов нет, используются добровольные рыночные механизмы: крупные продовольственные и товарные компании (например, Nestlé, Bayer) финансируют климатические практики у поставщиков-сельхозпроизводителей.

Япония и Южная Корея – менее аграрные страны, но и они реализуют некоторые зелёные агроинициативы. Япония развивает технологии «смарт-ферм»: датчики и ИИ для оптимизации полива и удобрений, чтобы повысить урожайность без наращивания химикатов. Японская правительственная программа по биоуглю (терраферма) поощряет фермеров пиролизовать растительные остатки в биоуголь и закапывать в почву – это улучшает плодородие и запирает углерод на десятилетия. Южная Корея ставит экспериментальные цели по сокращению метана от рисоводства (изменяя практики затопления полей) и внедряет на свинофермах системы сбора и переработки навоза в удобрения и энергию. Оба государства, учитывая небольшой вклад АПК в общий баланс выбросов, акцентируются больше на энергетике, транспорте и промышленности, но локальные проекты показывают возможность *совмещать поддержку фермерства с климатическими выгодами*.

Итоги и выводы

Опыт развитых стран за последнее десятилетие показывает, что внедрение зелёных технологий в экономику возможно и приносит конкретные результаты: снижение выбросов парниковых газов, рост нового сектора «чистой» индустрии, улучшение качества воздуха и энергоэффективности. Наиболее эффективными подходами оказались: комплексное сочетание *рыночных инструментов* (цена на углерод, субсидии) и *регулирующих* (стандарты, запреты на неэффективные технологии), усиленное чёткими целями и инвестициями в инфраструктуру и инновации. При такой стратегии энергетика быстро переходит на возобновляемые источники, транспорт электрифицируется, промышленность получает стимулы модернизироваться, а агросектор – поддержку для устойчивых методов.

Для других стран, включая развивающиеся экономики, опыт развитых стран даёт ценные уроки и возможности. Во-первых, экономия от масштаба и удешевление технологий благодаря усилиям богатых стран означает, что солнечные панели, ветрогенераторы, электромобили становятся доступнее всем – многие развивающиеся страны уже выигрывают, устанавливая рекордно дешёвые солнечные электростанции (менее \$0.02/кВт·ч). Во-вторых, нормативные и рыночные подходы могут быть адаптированы: системы торговли выбросами или топливные стандарты успешно копируются (Китай запустил национальную ETS в 2021 г. по примеру ЕС, Индия вводит нормы

эффективности для автомобилей, вдохновлённые европейскими). В-третьих, избежание ошибок: глядя на трудности других, страны могут заранее подготовиться – например, развивать электросети синхронно с ростом ВИЭ, чтобы не тормозить проекты; или обучать кадры для новой энергетики заблаговременно, чтобы не было дефицита специалистов.

Список использованной литературы

1. Andersson, J. J. (2019). Carbon Taxes and CO₂ Emissions: Sweden as a Case Study. *American Economic Journal: Economic Policy*, 11(4), 1–30.
2. Colmer, J., Martin, R., Muûls, M., & Wagner, U. J. (2025). Does Pricing Carbon Mitigate Climate Change? Firm-Level Evidence from the EU ETS. *Review of Economic Studies*, 92(3), 1625–1664.
3. Rafaty, R., Dolphin, G., & Pretis, F. (2020). Carbon Pricing and the Elasticity of CO₂ Emissions. INET Working Paper 140.
4. Rubin, E. S., Azevedo, I. M. L., Jaramillo, P., & Yeh, S. (2015). A Review of Learning Rates for Electricity Supply Technologies. *Energy Policy*, 86, 198–218.
5. Way, R., et al. (2022). Empirically Grounded Technology Forecasts and the Energy Transition. *Joule*, 6(10), 2214–2245.
6. <https://www.asahi.com/ajw/articles/15305067>
7. <https://www.iea.org/countries/germany>
8. <https://renewablesnow.com/news/renewables-end-2023-providing-22-7-percent-of-us-electrical-generation-849763/>
9. <https://www.canarymedia.com/articles/clean-energy/global-investment-fossil-fuels-2025#>
10. <https://www.climatecorecard.org/2024/09/82-of-canadas-electricity-came-from-non-greenhouse-gas-emissions-emitting-sources-in-2022/>
11. <https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2021/09/five-things-to-know-about-carbon-pricing-parry#>
12. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/south-korea-energy-carbon-neutrality-initiatives#>
13. <https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2021/09/five-things-to-know-about-carbon-pricing-parry#>