

Отраслевая экономика

Влияние реформы электроэнергетики в России на динамику выбросов парниковых газов: анализ методом клубной конвергенции

Юлия Викторовна Вымятина

ORCID ID 0000-0003-2849-4674

Кандидат экономических наук,
профессор факультета экономики,
Европейский университет в Санкт-Петербурге
(РФ, 191187, Санкт-Петербург,
Гагаринская ул., 6/1 А)
E-mail: yv@eu.spb.ru

Елена Александровна Бабкина

ORCID ID 0000-0001-6182-3666

Аспирант факультета экономики,
Европейский университет в Санкт-Петербурге
(РФ, 191187, Санкт-Петербург,
Гагаринская ул., 6/1 А)
E-mail: obabkina@eu.spb.ru

Юлия Владимировна Раскина

ORCID ID 0000-0002-4663-9008

Кандидат экономических наук,
доцент факультета экономики,
Европейский университет в Санкт-Петербурге
(РФ, 191187, Санкт-Петербург,
Гагаринская ул., 6/1 А)
E-mail: raskina@eu.spb.ru

Аннотация

В статье анализируется результативность российской реформы электроэнергетики с точки зрения динамики выбросов парниковых газов. Ранее итоги реформ электроэнергетики в таком ключе не рассматривались, однако сокращение углеродной эмиссии является одной из важных декларируемых долгосрочных целей мирового сообщества, поэтому подобный анализ представляется актуальным. Несмотря на то что снижение экологического следа отрасли не относилось к основным целям либерализации и демонополизации электроэнергетики в России, данная реформа могла иметь такой эффект. Мы выделяем два основных механизма влияния реформы на снижение выбросов. Первый механизм — это повышение эффективности выработки электроэнергии в результате, с одной стороны, действия рыночных сил на оптовом рынке, способствующих отбору более эффективных производителей, а с другой — стремления к снижению издержек новыми (частными) собственниками в сегменте генерации электроэнергии. Оба этих фактора способствуют росту оптимальной загрузки наиболее эффективных электростанций, что приводит к увеличению коэффициента использования установленной мощности и способствует снижению выбросов парниковых газов. Второй механизм — программа инвестиций в новые, более современные мощности, являвшаяся одним из условий приватизации предприятий в процессе российской реформы электроэнергетики. Мы предлагаем использовать для выявления возможной связи между российской реформой электроэнергетики и динамикой выбросов парниковых газов метод клубной конвергенции, достоинством которого является простота и минимальный набор необходимых данных. По результатам проведенного анализа можно заключить, что реформа электроэнергетики в России могла стать одним из факторов, оказавших влияние на динамику эмиссии парниковых газов.

Ключевые слова: отраслевые реформы, либерализация электроэнергетики, экологический след электроэнергетики, оптовый рынок электроэнергии и мощности.

JEL: C29, Q48, Q58, P28.

Sectoral Economics

Electricity Reform in Russia and Greenhouse Gas Emissions: Club Convergence Analysis

Yulia V. Vymyatnina

ORCID ID 0000-0003-2849-4674

Cand. Sci. (Econ.), Professor
at the Department of Economics,
European University at Saint Petersburg,^a
e-mail: yv@eu.spb.ru

Elena A. Babkina

ORCID ID 0000-0001-6182-3666

Postgraduate Student at the Department
of Economics, European University
at Saint Petersburg,^a
e-mail: obabkina@eu.spb.ru

Yulia V. Raskina

ORCID ID 0000-0002-4663-9008

Cand. Sci. (Econ.), Professor
at the Department of Economics,
European University at Saint Petersburg,^a
e-mail: raskina@eu.spb.ru

^a6/1A, Gagarinskaya ul., Saint Petersburg,
191187, Russian Federation

Abstract

In this paper the authors have analyzed the effectiveness of Russian electricity reform from the view-point of changes in greenhouse gas emissions. Even though reducing carbon dioxide emissions is one of the most important declared long-term goals of the world community, previous academic works have not examined the results of electricity reforms in this fashion. This paper should be informative in developing the current approach to evaluating any economic reform. Although reducing the industry's environmental footprint was not one of the main goals of the liberalization of Russia's energy sector, the paper hypothesizes that it may have made such a contribution. The authors identify two main mechanisms for reducing emissions. The first is by increasing the efficiency of electricity generation through wholesale market forces which favor more efficient producers, and this is reinforced by the desire of new (private) owners in the electricity generation sector to reduce costs. Both of these factors contribute to greater use of efficient power plants, which results in higher utilization rates of their installed capacity and helps to reduce greenhouse gas emissions. The second mechanism is a program of investment in new, more modern capacities, which was one of the conditions for the privatization of enterprises undertaken during Russian electricity reform. The authors propose using the club convergence method, which has the advantage of simplicity and a minimal required set of necessary data, for identification of the relationship between Russian electricity reform and the dynamics of greenhouse gas emissions. Based on their analysis, the authors conclude that the reform of the electric power industry in Russia could be one of the factors that affected the dynamics of greenhouse gas emissions.

Keywords: industry reforms, liberalization of the electricity industry, environmental footprint of the electricity industry, wholesale electricity and capacity market.

JEL: C29, Q48, Q58, P28.

Введение

В 1980–1990-х годах многие страны провели реформу в секторе электроэнергетики. В большинстве развитых стран эта отрасль находилась под контролем государства, отличалась низкой эффективностью и, будучи убыточной, представляла проблему для бюджета. В развивающихся странах отсутствие устойчиво функционирующей энергетики сдерживало экономический рост. При этом практически все страны нуждались в привлечении значительного объема частных инвестиций в электроэнергетику, что требовало большей прозрачности процесса формирования будущих доходов, понятного потенциальным инвесторам.

Страны, которые первыми реформировали электроэнергетику¹, ориентировались на внедрение рыночных принципов функционирования отрасли там, где это было возможно. Ключевыми этапами реформ стали: изменение принципов регулирования отрасли, разделение ее на конкурентные (генерация и сбыт) и монопольные (передача и администрирование системы) сегменты, приватизация, обеспечение условий для конкуренции в генерации и сбытовой части, создание оптового и розничного рынков электроэнергии, формирование условий для привлечения иностранного капитала.

В дальнейшем эти этапы легли в основу так называемой модельной реформы [Jamash, 2006; Joscov, 2008], которой придерживались страны, проводившие реформу электроэнергетики в середине 1990-х — начале 2000-х годов, в том числе Россия (всего около 90 стран [Nagayama, 2010]). Не все из них по экономическим или политическим причинам смогли реализовать модельную реформу полностью, а последовательность этапов зависела от политического и экономического контекста. Однако в большинстве случаев в рамках реформы состоялись разделение вертикально интегрированных компаний, их частичная или полная приватизация, создание оптового рынка электроэнергии и мощности, были приняты новые принципы регулирования.

Экологические показатели изначально не входили в число проблем, на решение которых были направлены реформы электроэнергетики в 1980-х — начале 2000-х годов (подробнее см. [Вымятина и др., 2022a]). Зеленая повестка и приоритеты выработки электроэнергии на базе возобновляемых источников вышли на первый план значительно позже. Тем не менее сама логика реформирования электроэнергетики, которой придерживалось большинство стран, могла привести к снижению выбросов даже в сфере традиционной

¹ К примеру, Великобритания, Испания, Норвегия, Чили.

генерации. Этому способствовал ряд мер в рамках модельной реформы. Выделение генерации из структуры вертикально интегрированных компаний во многих случаях сопровождалось приватизацией — полной или частичной — генерирующих мощностей, что должно было приводить к снижению издержек производства, в том числе к сокращению удельного расхода условного топлива с соответствующим уменьшением экологического следа.

Кроме того, страны, проводившие реформы, ожидали от новых собственников инвестиций в модернизацию оборудования и/или новые мощности, что также должно было повысить эффективность выработки электроэнергии и тем самым обеспечить снижение выбросов. Так, во многих европейских странах происходил переход от угольной к более эффективной — в терминах удельного расхода топлива — газовой генерации, характеризующейся более низкой удельной эмиссией парниковых газов и прочих загрязняющих веществ.

Также можно предположить, что на сокращение выбросов будет влиять оптовый рынок электроэнергии, возникновение которого станет следствием приватизации генерирующих мощностей. Становление такого рынка — в случае его успешной работы — в теории должно приводить к увеличению рыночной доли наиболее эффективных производителей². Даже если на начальном этапе рынок позволяет нарастить генерацию менее экологичным производителям, как правило, рост нагрузки способствует снижению удельного расхода топлива, а значит, и удельных выбросов.

В нашем исследовании мы исходим из высказанной выше гипотезы о наличии возможной связи между реформами электроэнергетики и сокращением выбросов. Ее подтверждение указывает на эффективность инвестиционного и/или рыночного механизма оптимизации производства. В этом смысле динамика выбросов может косвенно свидетельствовать об успешности проведенных реформ с точки зрения создания стимулов и условий для увеличения эффективности работающих в отрасли производителей (подробнее см. [Вымятина и др., 2022b]).

В этой логике в настоящей работе мы оцениваем российскую реформу электроэнергетики на основе динамики удельных выбросов углекислого газа, которая тесно связана как с потреблением ископаемого топлива электроэнергетикой, так и с используемыми технологиями. В России могли быть задействованы и рыночный (запуск оптового рынка электроэнергии и мощности

² Безусловно, действенность рыночного механизма ограничена особенностями структуры генерации: общей имеющейся установленной мощностью, наличием ГЭС с сезонной волатильностью генерации, АЭС, возможностями трансмиссии, структурой потребления и разными неэкономическими факторами.

(ОРЭМ) в 2011 году³), и инвестиционный (приватизация генерирующих мощностей в рамках реформы сопровождалась инвестиционными обязательствами новых владельцев) механизмы влияния реформы на экологический след отрасли. Мы считаем, что, несмотря на экономико-географические ограничения, рынок мог способствовать росту эффективности в сегменте генерации, поскольку к 2011 году дефицит мощностей был преодолен, а предложение на ОРЭМ формировали крупные теплоэлектростанции разных территориальных генерирующих компаний, конкурировавших между собой и — ограниченно — с другими видами генерации (АЭС, ГЭС).

1. Обзор литературы

Следует отметить, что при анализе результатов реформ электроэнергетики в разных странах вопросам влияния таких реформ на показатели экологичности отрасли уделяется мало внимания. Чаще всего исследователи начинают с оценок реформ в целом с точки зрения изменения основных показателей работы сектора (объема инвестиций, ввода новых мощностей, сокращения производственных расходов), после чего обращаются к таким темам, как влияние реформ на цены для производителей и населения, экономический рост, инвестиционные циклы, производительность отрасли, а также оценка результатов реформ с точки зрения общественного благосостояния.

Авторитетные исследователи реформ электроэнергетики часто отмечают, что стандартная схема реформирования вряд ли могла создать стимулы для развития возобновляемой энергетики и способствовать сокращению загрязнений окружающей среды. Давид Ньюбери в работе [Newberry, 2013], основываясь в первую очередь на британском опыте, отмечает, что невозможно совместить цели по декарбонизации, энергетической безопасности и доступности электроэнергии в рамках существующей (в результате реформы) рыночной модели. Аналогичная точка зрения высказана исследователями из ВШЭ: «...процессы долгосрочного развития отрасли не полностью обеспечиваются рыночными сигналами и требуют специальной поддержки со стороны регуляторов (механизмы оплаты мощности, долгосрочные контракты, государственные гарантии, механизмы поддержки ВИЭ, налоги на выбросы CO₂ и др.)» [Баркин и др., 2014. С. 42].

³ Нужно отметить, что ОРЭМ по настоящее время не покрывает всей площади России: ряд территорий по причине удаленности/замкнутости или других причин находятся в так называемых неценовых зонах. Сам же рынок разделен на две ценовые зоны из-за большой площади, затрудняющей перетоки.

Более того, некоторые работы показывают, что либерализация электроэнергетики не только не создает стимулов или механизмов для сокращения выбросов парниковых газов (основная гипотеза нашего исследования), но даже способствует увеличению эмиссии в результате сокращения доли атомной и гидрогенерации. Такой результат получен в работах [Ruiz-Mendoza, Sheinbaum-Pardo, 2010; Sheinbaum et al., 2011] на примере стран Латинской Америки, в которых приток частных инвестиций привел к росту доли генерации из ископаемых видов топлива, в то время как оставшиеся в государственной собственности атомная и гидрогенерация, не получившие достаточного объема финансирования, не увеличили свои доли. Авторы подчеркивают, что критерием успешности реформ для правительств были ожидания и результаты приходящих в отрасль инвесторов относительно прибыли, а не экологические соображения. Как итог, во всех анализируемых странах, кроме Колумбии, потребление ископаемого топлива и выбросы CO_2 в течение и после завершения реформы оказалось выше, чем до нее. Колумбия стала исключением, поскольку увеличила долю гидрогенерации, что было связано с особенностями географического положения и климата страны, а не с реформой.

На наш взгляд, можно выделить две основные причины снижения выбросов парниковых газов в электроэнергетике из-за ухода от естественной монополии. Во-первых, это может быть следствием постепенного изменения структуры генерации в результате механизмов рыночного отбора. В частности, снижению выбросов парниковых газов могут способствовать инвестиции в газовую генерацию при одновременном сокращении угольной, как это произошло во многих странах Европы и регионах европейской части России. Также это может быть связано с ростом доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе гидроэнергетики и малой гидроэнергетики, в структуре генерации, однако у большинства стран есть естественные или экономические ограничения такого увеличения. Во-вторых, снижение выбросов может оказаться следствием модернизации производства, прошедшей в результате появления рыночной конкуренции, и оптимизации производственной структуры в традиционной генерации в результате приватизации и/или при появлении рыночных сигналов.

Авторы статьи [Clò et al., 2017] рассматривают опыт стран Европейского союза (с добавлением Норвегии и Турции) и приходят к выводу, что государственная (public) собственность на электростанции коррелирует с более низким уровнем выбросов и снижением интенсивности выбросов (то есть удельных выбросов на единицу произведенной энергии). В то же время в работе [Asane-Otoo, 2016] по странам ОЭСР получены противополож-

ные выводы: усиление рыночной конкуренции (разделение вертикально интегрированных компаний и приватизация сектора) ассоциируется со снижением интенсивности выбросов, в то время как ослабление барьеров для входа на рынок значимого эффекта на динамику выбросов не оказывает. Таким образом, было бы преувеличением говорить о существующем научном консенсусе в отношении влияния реформ электроэнергетики на динамику парниковых выбросов.

С актуализацией экологической повестки в сравнительных эмпирических исследованиях в литературе появился раздел, изучающий конвергенцию стран по выбросам углекислого газа или парниковых газов на душу населения (как правило, без привязки к отрасли). В общем случае конвергенция происходит, если страны с более высокими начальными уровнями выбросов имеют более низкие темпы роста выбросов, чем страны с более низкими исходными уровнями выбросов, и со временем достигают одного или нескольких стационарных состояний («паттернов конвергенции»), соответствующих их «базовой экономической структуре» [Apergis, Payne, 2017. С. 15]. Популярность таких исследований связана, в частности, с необходимостью оценки целесообразности политики добровольных обязательств в рамках международных договоров (например, Киотского протокола). При наличии конвергенции страны должны быть заинтересованы в принятии такого рода обязательств. Существование же дивергенции будет указывать на наличие стимулов для переноса «грязных» производств в другие страны или торговли квотами на выбросы. В рамках такого рода исследований важно также изучать конвергенцию, в том числе клубную, с точки зрения источников выбросов (по отраслям и по видам топлива), поскольку это позволит принимать адекватные решения в плане будущего экономического развития при выработке экологической политики.

В литературе активно исследуется вопрос о том, догоняют ли менее энергоэффективные и более загрязняющие среду страны те страны, которые считаются передовыми в экологическом контексте [Han et al., 2018; Karakaya et al., 2019; Marakandya et al., 2006], и каковы детерминанты динамики загрязнений и сходимости стран к более высоким или низким уровням [Morales-Lage et al., 2019; Tiwari et al., 2021]. Однако такие исследования не рассматривают вопрос о влиянии реформы электроэнергетики на динамику показателей выбросов. Как мы отмечали выше, появление конкуренции в сегменте генерации может создавать предпосылки для снижения выбросов и тем самым способствовать сходимости стран с успешно проведенной реформой электроэнергетики к более низкому уровню выбросов.

В связи с этим нам представляется целесообразным изучение вопроса о клубной конвергенции, или дивергенции экологического следа, стран в контексте проведения реформы электроэнергетики. По нашему мнению, такой подход позволяет оценить возможные изменения в относительных трендах выбранных экологических показателей в привязке ко времени проведения реформы (или конкретного ее этапа, например приватизации или введения оптового рынка электроэнергии). Перемещение страны в более успешный клуб, совпадающее с временем проведения реформы, свидетельствует о сдвиге в сторону ускорения сокращения экологического следа отрасли.

2. Методология исследования

Для оценивания конвергенции на панельных данных релевантны три распространенных подхода: (1) стохастическая конвергенция (предполагает стохастическую нестационарность исследуемой переменной), (2) σ -конвергенция (предполагает тренд-стационарность исследуемой переменной [Barro, Sala-i-Martin, 1990]), (3) клубная конвергенция, в частности подход Филлипса — Сула (*time-varying nonlinear factor model approach* или *log-t* регрессия) [Phillips, Sul, 2007]. Последний метод имеет меньше всего ограничивающих предпосылок и не требует задавать априори количество клубов в случае отсутствия полной конвергенции. Кроме того, такой подход предполагает гетерогенность поведения агентов и возможность изменения их поведения [Du, 2017].

Остановимся на ключевых пунктах метода Филлипса — Сула в русле работы [Aspergis, Payne, 2020]. Этот подход содержит предположение об общей компоненте роста/снижения для всех или некоторых стран, тестируя сходимость относительно иных изменяющихся во времени и гетерогенных идиосинкразических компонент. Иными словами, интересующая нас переменная X_{it} , для которой мы ищем сходимость, изменяющаяся для каждой страны i во времени, представляется как произведение двух компонент: компоненты общего стохастического или детерминированного трендов в панели u_t и идиосинкразической компоненты δ_{it} , изменяющейся во времени. Последняя включает в себя временные и индивидуальные страновые эффекты, показывая расстояние между общим трендом и конкретным значением переменной для каждой страны i в момент времени t .

В подходе Филлипса — Сула решение о наличии конвергенции принимается на основе оценки так называемой *log-t* регрессии (уравнение (1)), когда оценивается дисперсия H_1 и H_t относительного коэффициента перехода h_{it} (уравнение (3)) в начальный мо-

мент времени и момент времени t . Авторы метода показали, что в условиях конвергенции, то есть когда путь перехода к общему тренду по исследуемой переменной у всех стран одинаков и равен δ , дисперсия будет стремиться к нулю (уравнение (2)).

$$\log\left(\frac{H_1}{H_t}\right) - 2 \log(t) = \hat{\alpha} + \hat{\beta} \log(t) + \varepsilon_t, \quad (1)$$

$$H_t = N^{-1} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2 \rightarrow 0, \text{ если } \lim_{t \rightarrow \infty} \delta_{it} = \delta \forall i. \quad (2)$$

Относительный коэффициент перехода h_{it} измеряется как относительное расстояние показателя X_{it} для страны i по отношению к среднему по панели показателю и отражает индивидуальный путь страны i по отношению к другим включенным в панель странам, описывая относительное отклонение страны i от общего пути роста:

$$h_{it} = \frac{1/d_{iT} X_{it}}{N^{-1} \sum_{j=1}^N 1/d_{jT} X_{jt}} = \frac{\delta_{iT}(\frac{t}{T})}{N^{-1} \sum_{j=1}^N \delta_{jT}(\frac{t}{T})}. \quad (3)$$

В условиях конвергенции h_{it} стремится к единице для всех стран i при $t \rightarrow \infty$. Нулевая гипотеза существования конвергенции выглядит следующим образом: $\delta_i = \delta$, $\alpha \geq 0$, где α — скорость конвергенции. Питер К. Б. Филлипс и Донгью Сул показали, что в $\log-t$ регрессии $\beta = 2\alpha$ и для тестирования гипотезы о наличии конвергенции достаточно протестировать, что $\beta \geq 0$. Уравнение оценивается методом наименьших квадратов со стандартными ошибками, устойчивыми к гетероскедастичности и автокорреляции. Клубная конвергенция определяется в несколько шагов: сначала по результатам последовательных $\log-t$ регрессий формируется ядро клуба из k членов с максимальными t -статистиками ($t_k > -1,65$). Далее к ядру присоединяются объекты с t -статистиками больше нуля. Если ядро не находится, то такие страны демонстрируют дивергенцию.

Выбранный подход позволяет решить поставленную нами исследовательскую проблему. Определяя, с какими странами в нашей выборке оказывается схожим тренд динамики удельных выбросов парниковых газов электроэнергетики в России, мы оцениваем изменение тренда после проведения реформы. Эффект от реформы мы считаем положительным, если в постреформенный период страна демонстрирует конвергенцию со странами (клубом) с более низким равновесным значением удельных выбросов, чем до реформы, при условии незначительных изменений самих клубов.

3. Выбор данных

При изучении вопроса о конвергенции стран в рамках движения по сокращению антропогенного воздействия на окружа-

ющую среду рассматривают ряд различных показателей такого воздействия. Наиболее распространенными являются: (1) выбросы углекислого газа (CO_2) или парниковых газов на душу населения, (2) отношение объема выбросов углекислого газа или парниковых газов к ВВП (то есть интенсивность выбросов в производстве ВВП), (3) отношение потребленной за период времени энергии к ВВП за тот же период времени (энергоемкость ВВП) и (4) отношение объема выбросов CO_2 или парниковых газов к количеству произведенной или потребленной энергии. Проведение анализа по такому набору показателей позволяет учесть конвергенцию стран как с точки зрения энергоэффективности, так и с точки зрения используемых источников энергии. Заметим, что использование показателей выбросов углекислого газа или парниковых газов в таких исследованиях более информативно, чем использование показателей энергоемкости, поскольку учитывает процессы изменения источников энергии, например применение менее загрязняющих сортов угля или переход с угля и мазута на газ, а также использование более эффективных установок, преобразующих энергию ископаемого топлива в электричество и тепло.

Несмотря на то что исследователи чаще всего анализируют конвергенцию стран по выбросам парниковых газов (часто от всех отраслей, не только электроэнергетики) на душу населения или единицу выпуска, мы считаем более релевантным рассматривать удельные выбросы парниковых газов на единицу произведенной энергии. Это позволяет избежать искажений, связанных с индивидуальными особенностями энергетической системы разных стран (зависимость от экспорта⁴, более или менее развитая сеть передачи электроэнергии, климатические условия, энергоемкое производство и транспорт), которые отражаются на выработке электроэнергии, но слабо коррелируют с численностью населения или объемом ВВП. Наш основной показатель — отношение выбросов парниковых газов к выработке электроэнергии — мы считаем как для общей выработки электроэнергии, так и для выработки с использованием ископаемых видов топлива (угля, газа, нефтепродуктов). Первый показатель отражает общий возможный экологический эффект от реформы в отрасли в целом, учитывая и модернизацию теплоэлектростанций, и оптимизацию производственного процесса, и изменения в структуре как используемого ископаемого топлива, так и генерации в целом. Вто-

⁴ Отметим, что многие рассматриваемые нами страны проходили в анализируемый период процессы интеграции/дезинтеграции, что оказывало сильное влияние на объем и структуру генерации.

рой же касается только части генерации, непосредственно производящей выбросы парниковых газов⁵.

Базовая группа для анализа состояла из 30 стран ОЭСР, по которым есть все необходимые данные⁶, а также России и Казахстана. Такой состав определялся не только доступностью данных, но и тем, что основная часть стран ОЭСР, как и СССР, прошла узловые этапы индустриализации в первой половине XX века. Соответственно, реформы там проводились в отрасли, которая в целом не нуждалась в масштабном расширении для наращивания энергоемкого производства и урбанизации, как это было, например, в Индии или Китае. Кроме того, большинство стран ОЭСР провели реформы в электроэнергетике раньше, чем Россия. Это позволяет предположить, что динамика снижения выбросов в этих странах, сложившаяся после реформы или вследствие других мер (например, политики по декарбонизации), сформировала устойчивый тренд до введения в России оптового рынка электроэнергии. Тогда анализ конвергенции динамики российского показателя до и после 2011 года поможет выявить изменения в российском долгосрочном тренде.

Следует отметить, что проведение временной границы по году полноценного введения ОРЭМ не подразумевает, что мы связываем потенциальный эффект только с этим, заключительным, этапом в процессе реформирования отрасли, то есть с воздействием рынка на производство электроэнергии. Приватизация генерирующих мощностей могла внести вклад в сокращение углеродного следа, однако ее воздействие имеет некоторый временной лаг. В результате показатели функционирования отрасли, в том числе экологический след, после 2011 года отражают, скорее, общий эффект от реформы на электроэнергетику России.

Казахстан включен нами в выборку как пример страны вне еврозоны и ОЭСР с преимущественно угольной генерацией (более 70%) и высокой энергоемкостью экономики. Реформирование электроэнергетики по схожему с российским сценарию в Казахстане прошло раньше, чем в России (разделение вертикально интегрированной энергосистемы и приватизация электростанций были проведены в 1996 году, оптовый рынок запущен в 1998 году), поэтому динамику сокращения удельных выбросов в этой стране мы считаем стабильной. Мы предполагаем, что российский тренд сокращения выбросов без проведения реформы соответствовал бы казахстанскому из-за технологического и экономического сходства

⁵ В данном случае, как мы писали выше, речь идет о снижении издержек в единицах условного топлива на единицу выпуска. В этом случае использование газа вместо угля (и мазута) является более эффективным и экологичным. Тем не менее в отдельных странах или регионах угольная генерация (по крайней мере в кратко- и среднесрочной перспективе) может оказаться более эффективной в смысле цены топлива.

⁶ В выборку не вошли Люксембург и Швейцария.

двух стран (и, возможно, этот тренд был хуже, чем в любой из стран ОЭСР), но в дальнейшем могла произойти дивергенция Казахстана и России, связанная с проведением российской реформы и преимуществами России в диверсификации источников энергии⁷.

Основные источники данных — статистика Организации Объединенных Наций, Международного энергетического агентства (IEA) и Управления энергетической информации США (статистика по производству электроэнергии и структуре генерации). Данные охватывают промежуток с 1992 по 2018 год. Мы использовали следующие ряды данных: выбросы парниковых газов в тоннах CO₂ предприятиями электроэнергетики (данные ООН), производство электроэнергии по странам (EIA), производство электроэнергии по странам и способам генерации (МЭА). На их основании нами были рассчитаны такие показатели, как выбросы парниковых газов на единицу генерации и выбросы парниковых газов на единицу генерации из ископаемых видов топлива, а также изучены изменения в структуре генерации стран в означенный период.

4. Изменения в электроэнергетике стран выборки: дескриптивный анализ

Общие выбросы парниковых газов (в пересчете на тонны углекислого газа) в секторе электроэнергетики в странах нашей выборки в рассматриваемый период имели тенденцию к сокращению, хотя динамика внутри периода не была равномерной и однонаправленной. Выбросы значительно выросли в таких странах, как Австралия (стала важным для Азиатско-Тихоокеанского региона экспортером сырья, активно развивала добывающую промышленность; рост выбросов на 36%) и Япония (дефицит возможных источников генерации⁸; рост выбросов на 34%). Несколько меньший рост выбросов наблюдался в Нидерландах (16%). В Казахстане, США (лидер по абсолютным значениям эмиссии) и Финляндии выбросы остались на старом уровне или незначительно (до 5%) выросли. Особняком стоит Норвегия с резким ростом выбросов после 2008 года вследствие ввода в эксплуатацию новых газовых генерирующих мощностей⁹, а также переживающая активный рост производства «мастерская Европы» — Турция (в обеих странах эмиссия выросла практически в 4 раза).

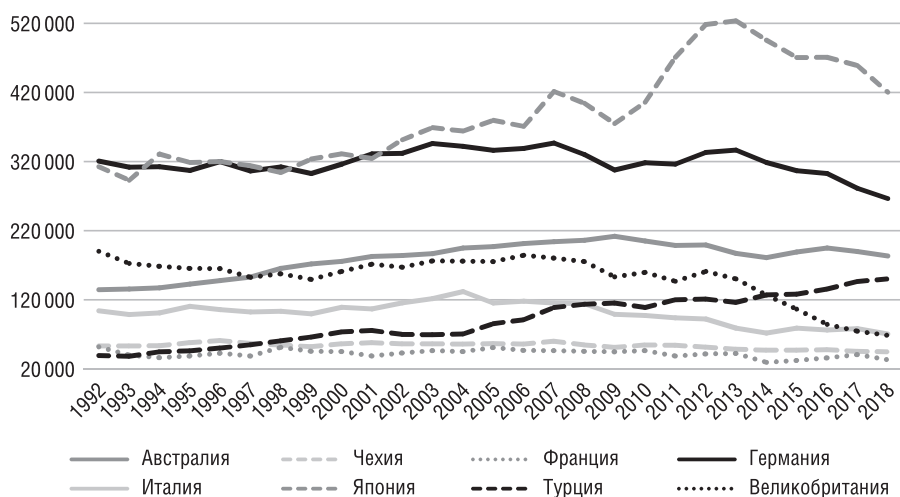
Остальные страны продемонстрировали уверенное сокращение валовой эмиссии парниковых газов в электроэнергетике.

⁷ Этот фактор позволяет считать менее вероятной дивергенцию России и Казахстана после проведения реформ в Казахстане с переходом последнего на траекторию более интенсивного сокращения выбросов.

⁸ В особенности после аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 году.

⁹ Но валовые показатели ее выбросов остаются одними из самых низких в мире.

Среди них можно выделить рекордсменов — Исландию (сокращение на 83%), Данию (67%), Великобританию (64%), а также такие постсоциалистические страны, как Литва, Латвия и Словакия (сокращение на 86, 60 и 56% соответственно)¹⁰. Прочие страны группы можно условно разделить на лидеров по сокращению валовых выбросов (на 30–45%) и их последователей (на 15–20%). К первым мы отнесем Бельгию, Венгрию, Италию, Канаду, Новую Зеландию, Польшу, Францию, Эстонию, ко вторым — Австрию, Германию, Грецию, Ирландию, Испанию, Португалию, Словению, Чехию, а также Россию (снижение на 21%). Швеция, где выбросы сократились примерно на четверть, занимает по данному показателю промежуточное положение. Динамика показателя выбросов парниковых газов от производства тепло- и электроэнергии по отдельным странам из выборки представлена на рис. 1.



Источник: рассчитано авторами по данным ООН. https://di.unfccc.int/flex_annex1.

Рис. 1. Валовые выбросы парниковых газов от тепло- и электрогенерации в странах ОЭСР (тыс. т)

Fig. 1. Gross Greenhouse Gas Emissions From Heat and Electricity Generation in OECD Countries (kt)

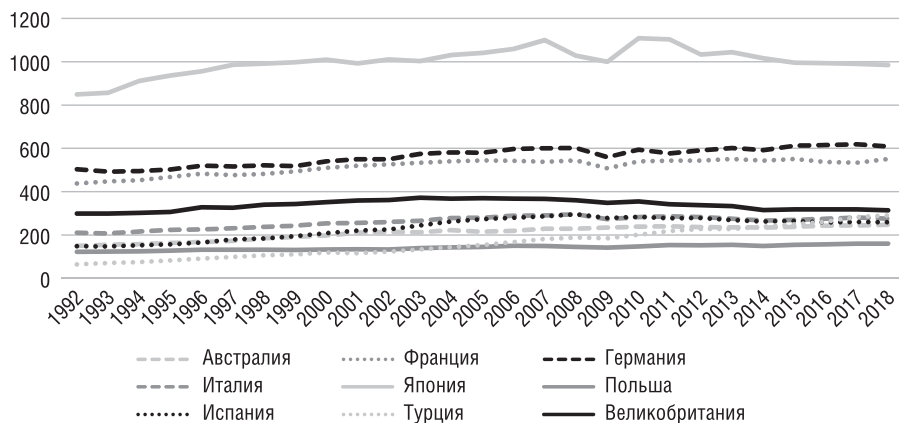
Рассмотрим динамику общей выработки электроэнергии. За исключением Литвы (значительное снижение генерации), остальные страны в основном демонстрировали в 1992–2018 годах рост по этому показателю, хотя в странах Восточной Европы в отдельные

¹⁰ Несмотря на то что значительное сокращение парниковой эмиссии в 1992–2018 годах объединяет эти страны в одну группу, они продемонстрировали три различных сценария постсоциалистической трансформации в электроэнергетической отрасли: критическое снижение производства и остановка основных объектов генерации (Литва), сохранение объемов производства с изменением его структуры (Словакия), значительный рост (от низкой базы 1992 года) производства электроэнергии (Латвия).

годы также наблюдалось снижение. В целом за этот период можно выделить несколько трендов в этой группе стран:

- 1) стагнация / незначительный рост (до 10–12%) генерации (Бельгия, Великобритания, Венгрия, Дания, Словакия, Швеция, Эстония, к этой же группе относится и Россия);
- 2) умеренный рост (20–35%) генерации (Австрия, Германия, Италия, Канада, Норвегия, Польша, Словения, США, Финляндия, Франция, а также Казахстан; к этой же группе мы относим и Японию с ростом на 16%, учитывая техногенную катастрофу);
- 3) средний рост (40–50%) генерации (Греция, Нидерланды, Чехия);
- 4) значительный рост (60–75%) генерации (Австралия, Испания, Латвия, Новая Зеландия);
- 5) высокий (до 100%) рост генерации (Ирландия, Португалия).

Отдельно выделим страны, показавшие очень высокий рост производства электроэнергии — в 4,5 раза: Исландию, развивающую гидроэнергетику и гидротермальную генерацию, и Турцию, для которой причины подобного роста лежат скорее в экономической плоскости, чем в энергетической. Динамика генерации электроэнергии по отдельным странам представлена на рис. 2.



Источник: EIA. <https://www.eia.gov/>.

Рис. 2. Динамика объема генерации электроэнергии (млрд кВт·ч)

Fig. 2. Gross Electricity Generation (bln kWh)

Для нашего анализа также важно посмотреть на динамику абсолютных и относительных объемов генерации из ископаемых видов топлива (газа, нефти, угля), поскольку именно эта часть генерации является источником углеродного следа отрасли. В этой

части генерации наблюдается значительное расхождение по странам. Если убрать случаи наиболее серьезного сокращения (Литва — сокращение генерации из ископаемых видов топлива на 88%; Дания, Исландия и Швеция — сокращение на 65–70%), можно разделить страны на следующие группы:

- 1) страны со значительным снижением (30–50%) общего объема генерации из ископаемых видов топлива (Великобритания, Венгрия, Словакия);
- 2) страны с умеренным снижением (10–20%) общего объема генерации из ископаемых видов топлива (Новая Зеландия, Финляндия, Эстония);
- 3) страны, для которых объем генерации из ископаемых видов топлива за период не изменялся или вырос/снизился менее чем на 10% (Австрия, Бельгия, Германия, Греция, Италия, Канада, Россия, Словения, Франция, Чехия);
- 4) страны с умеренным ростом (15–20%) объема генерации из ископаемых видов топлива (Польша, Португалия);
- 5) страны со значительным ростом (25–50%) объема генерации из ископаемых видов топлива (Австралия, Ирландия, Испания, Казахстан, Нидерланды, США, Япония);
- 6) страны с кратным увеличением объема генерации из ископаемых видов топлива (Норвегия, Турция).

Динамика генерации энергии из ископаемых источников топлива по отдельным странам представлена на рис. 3.

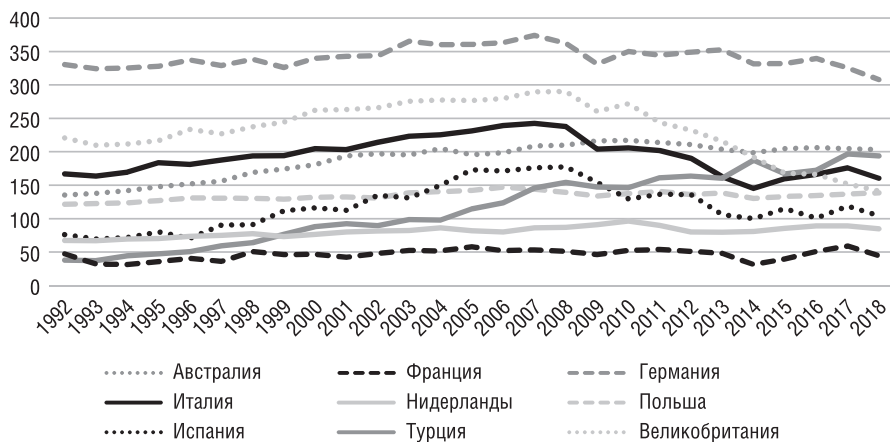
В странах нашей выборки наблюдаются существенные различия в долях ископаемого топлива в структуре генерации. Особняком стоит Дания, снизившая на 67 п.п. генерацию на базе ископаемых видов топлива: к началу 2000-х годов она отказалась от угольных электростанций в пользу газовых, а в начале 2010-х заменила газ и уголь ветроэлектростанциями и биотопливом. Также отдельную группу образуют страны, в которых ископаемое топливо использовалось менее чем на 5% всей генерации как в начале, так и в конце изучаемого периода (Исландия, Норвегия, Швеция). Для остальных стран наблюдаются два важных тренда.

Во-первых, почти во всех странах происходило снижение доли ископаемого топлива в структуре генерации. Исключение составили Латвия (+13 п.п.), Япония (+9 п.п.) и Турция (+8 п.п.), значительно нарастившие мощности газовой генерации.

Прочие страны можно разделить на следующие группы:

- 1) значительно сократившие (на 20–30 п.п.) за 1992–2018 годы долю ископаемого топлива в генерации (Великобритания, Греция, Ирландия, Италия, Португалия, Словакия, Чехия);

- 2) умеренно сократившие (на 10–20 п.п.) за 1992–2018 годы долю ископаемого топлива в генерации (Венгрия, Германия, Испания, Нидерланды, Новая Зеландия, Польша, Финляндия, Эстония);
- 3) сократившие минимально (до 7 п.п.) или оставившие долю ископаемого топлива в генерации на уровне 1992 года (Австралия, Австрия, Бельгия, Казахстан, Канада, Литва, Россия, Словения, США и Франция).



Источник: EIA. <https://www.eia.gov/>.

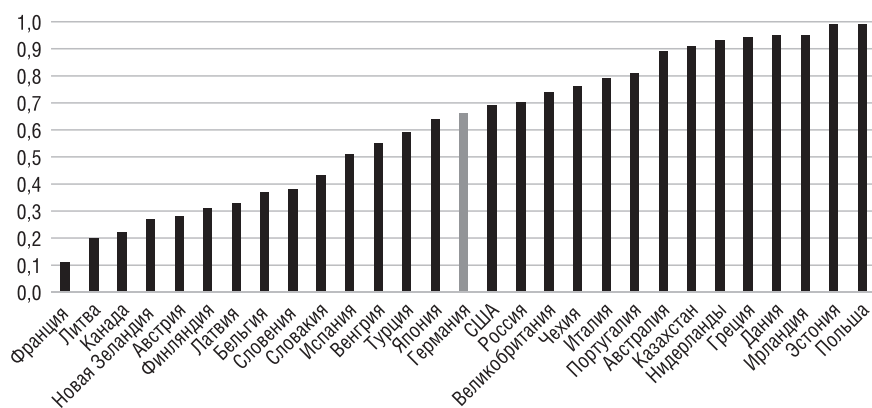
Рис. 3. Динамика объема генерации электроэнергии из ископаемых видов топлива (уголь, нефть, газ) (кВт·ч)

Fig. 3. Gross Fossil Fuels Electricity Generation (kWh)

Во-вторых, за 1992–2018 годы значительно снизилась медиана доли генерации на основе ископаемого топлива по нашей выборке: с 66% в начале периода до 48% — в конце. Снизились также минимальное и максимальное значения — не осталось стран, чья генерация зависела бы от ископаемого топлива более чем на 90% (рис. 4 и 5). Количество стран, имеющих в структуре генерации электроэнергии более 69% ископаемого топлива, сократилось вдвое — с 14 до 7. При этом почти на 50% (с 11 до 16) выросло число стран, в структуре электрогенерации которых менее 51% приходится на ископаемое топливо.

Таким образом, можно сделать вывод, что основным источником снижения парниковой эмиссии в электроэнергетике в рассматриваемых странах в 1992–2018 годах было снижение доли генерации на основе ископаемого топлива.

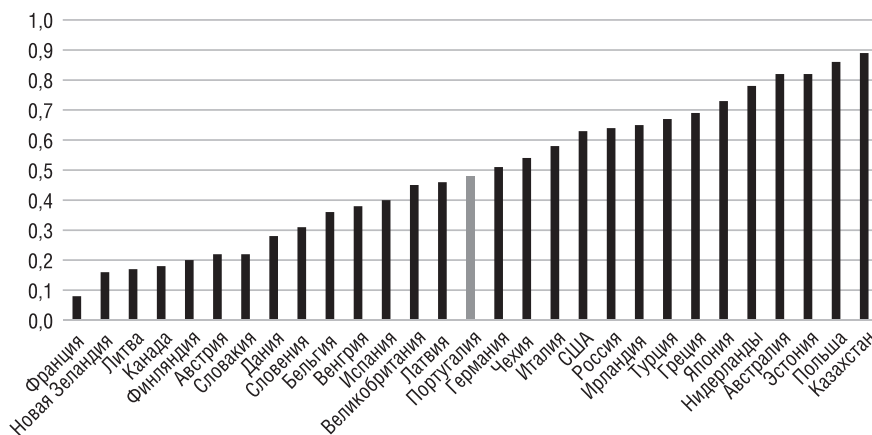
Перейдем к рассмотрению удельных выбросов парниковых газов от производства электроэнергии. Первое, что нужно отме-



Источник: рассчитано авторами по данным EIA. <https://www.eia.gov/>.

Рис. 4. Доля выработки электроэнергии из ископаемых видов топлива в 1992 году (%)

Fig. 4. Share of Fossil Fuels Electricity Generation in 1992 (%)



Источник: рассчитано авторами по данным EIA. <https://www.eia.gov/>.

Рис. 5. Доля выработки электроэнергии из ископаемых видов топлива в 2018 году (%)

Fig. 5. Share of Fossil Fuels Electricity Generation in 2018 (%)

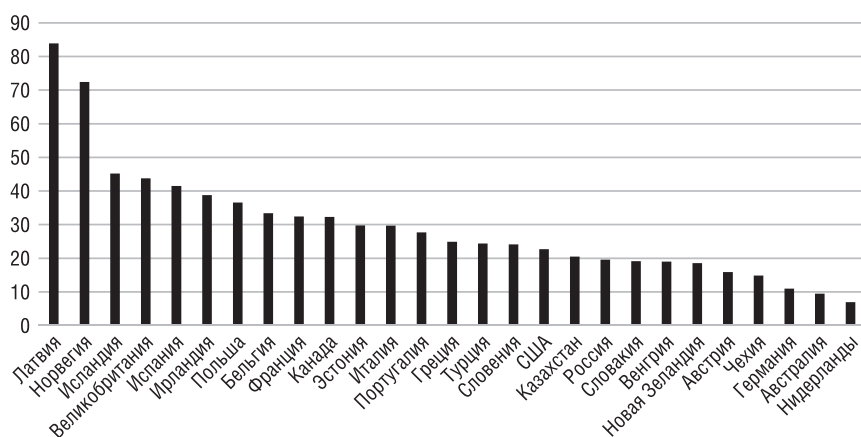
тить, — общая тенденция стран выборки к снижению выбросов парниковых газов на единицу выработанной электроэнергии в течение изучаемого периода. Исключение составили лишь Норвегия и Япония, существенно изменившие структуру генерации, а также Литва, где этот показатель остался неизменным. Лидерами по относительному снижению удельных выбросов были Дания, Исландия и Латвия.

В целом десять стран сократили этот показатель более чем на 50% от уровня 1992 года (к тройке лидеров добавились Великобритания, Ирландия, Испания, Новая Зеландия, Португалия, Словакия, Франция). Еще 23 страны снизили удельные выбросы

парниковых газов при производстве электроэнергии более чем на 30% от уровня 1992 года. Наименьшие удельные выбросы, помимо скандинавских стран, в 1992 году были у Австрии, Канады, Новой Зеландии и Франции, наибольшие — у Казахстана, Латвии, Польши и Эстонии, близко к последним находилась и Россия. В 2018 году список лидеров не изменился, но к ним существенно приблизились Великобритания и Словакия.

Более интересным для нас показателем является эмиссия парниковых газов на единицу электроэнергии, выработанной из ископаемых видов топлива, поскольку изменения в структуре генерации в целом обусловлены большим количеством факторов, среди которых реформа электроэнергетики не на первом месте. Сокращение же эмиссии при выработке электроэнергии из ископаемых источников топлива в большей степени может быть обусловлено инвестиционными стратегиями частных собственников, пришедших в отрасль в результате реформы, и функционированием рыночных механизмов.

В нашей выборке мы действительно наблюдаем сокращение выбросов на единицу электроэнергии, произведенной из ископаемых видов топлива, у большинства стран. Тем не менее есть и страны, у которых этот показатель вырос: Дания, Литва, Финляндия, Швеция и Япония. Отметим, что в Финляндии и Швеции этот показатель вырос в 1,3 и 2 раза соответственно, что является существенным увеличением. В остальных странах снижение рассматриваемого показателя составило от 84% в Латвии и 72% в Норвегии до 7% в Нидерландах (рис. 6).



Источник: рассчитано авторами по данным EIA. <https://www.eia.gov/>.

Рис. 6. Сокращение эмиссии парниковых газов от выработки электроэнергии из ископаемых видов топлива, 2018 год относительно 1992-го (%)

Fig. 6. Reduction of Greenhouse Gas Emissions From Fossil Fuels Electricity Generation, 2018 to 1992 (%)

Что же касается абсолютных показателей выбросов на единицу электроэнергии из ископаемого топлива, то в 1992 году наибольшими они были в Латвии, наименьшими — в Японии, отличаясь в 6,71 раза. В 2018 году наиболее чистую энергетику по этому показателю имела Италия, наиболее грязную — Швеция; за рассматриваемый период разница между ними увеличилась до 8,1 раза.

5. Клубная конвергенция: результаты эконометрического оценивания

Наблюдается ли сходимость удельных выбросов парниковых газов от производства электроэнергии по странам и можно ли ее ассоциировать с реформой электроэнергетики исходя из времени появления изменений? Для ответов на эти вопросы мы рассмотрели отдельно два периода: 1992–2011 годы и 1992–2018 годы. Нас интересовало, менялась ли траектория выбросов парниковых газов на единицу произведенной электроэнергии (по всей генерации и отдельно по генерации на основе ископаемого топлива) после завершения реформы электроэнергетики в России (то есть после введения ОРЭМ). Напомним, что в 2011 году практически на всей территории страны был введен полноценный оптовый рынок электроэнергии и мощности.

Кроме того, после 2011 года можно говорить об определенной технологической модернизации отрасли после разделения и ликвидации РАО «ЕЭС России» в 2008 году. К 2011 году новые субъекты генерации — оптовые генерирующие компании (ОГК) и территориальные генерирующие компании (ТГК) — уже могли завершить первый этап инвестиций в производственные фонды после преодоления последствий экономического кризиса 2008 года. Отметим, что именно электростанции ОГК составляли основу формирования рыночной конкуренции со стороны предложения электроэнергии на ОРЭМ. Несмотря на некоторые изменения в составе собственников и поглощения в 2010-х годах, рынок продолжает оставаться достаточно конкурентным: входящие в состав ОГК электростанции принадлежат четырем крупнейшим энергетическим корпорациям, кроме того, можно в некоторой степени говорить о конкуренции между типами генерации.

Казалось бы, более наглядные результаты можно получить, разделив период наблюдений на до и после российской реформы, но период с 2011 по 2018 год слишком мал для выбранного метода анализа. Однако его длина достаточна, чтобы выявить изменение тренда после 2011 года при анализе рядов данных на выбранных нами временных промежутках. Изменение тренда выбросов в период после реформы мы интерпретируем как *возможный* эффект реформы (за счет отмеченных выше механизмов). Безусловно,

связь между реформированием отрасли и динамикой эмиссии парниковой газов нельзя считать доказанной, опираясь только на результаты анализа конвергенции. Выбранный нами метод анализа позволяет сделать только косвенные выводы, которые затем должны быть подтверждены более детальным анализом с учетом структуры генерации и ее динамики.

Полученные результаты разбиения стран на клубы по выбросам парниковых газов на единицу произведенной энергии по двум выбранным временным промежуткам приведены в табл. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

**Клубная конвергенция стран по выбросам парниковых газов
на единицу всей выработанной электроэнергии, 1992–2011 годы**

Table 1

**Club Convergence of Countries by Greenhouse Gas Emissions
per Unit of Total Electricity Generated, 1992–2011**

Клубы	Страны
Клуб 1	Австралия, Греция, Казахстан, Литва, Польша, Россия, Эстония
Клуб 2	Великобритания, Германия, Дания, Словения, США, Турция, Чехия, Япония
Клуб 3	Венгрия, Ирландия, Италия, Нидерланды, Финляндия
Клуб 4	Австрия, Бельгия, Испания, Канада, Латвия, Новая Зеландия, Португалия, Словакия, Франция, Швеция
Страны, для которых не выявлено конвергенции по данной переменной	Исландия, Норвегия

Источник: рассчитано авторами.

Т а б л и ц а 2

**Клубная конвергенция стран по выбросам парниковых газов
на единицу всей выработанной электроэнергии, 1992–2018 годы**

Table 2

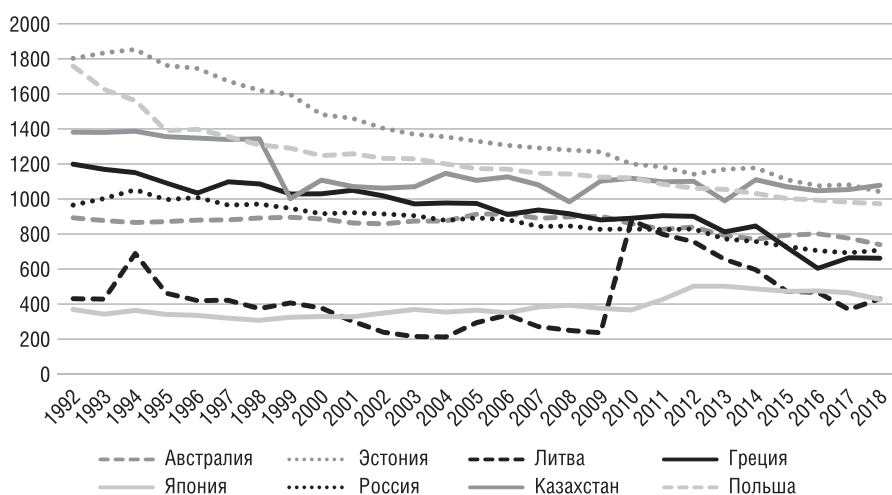
**Club Convergence of Countries by Greenhouse Gas Emissions
per Unit of Total Electricity Generated, 1992–2018**

Клубы	Страны
Клуб 1	Австралия, Казахстан, Литва, Польша, Эстония, Япония
Клуб 2	Греция, Россия
Клуб 3	Германия, Нидерланды, США, Турция, Чехия
Клуб 4	Венгрия, Дания, Ирландия, Словения
Клуб 5	Бельгия, Италия, Латвия, Португалия, Финляндия
Клуб 6	Великобритания, Испания,
Клуб 7	Австрия, Канада, Новая Зеландия, Франция
Клуб 8	Норвегия, Швеция
Страны, для которых не выявлено конвергенции по данной переменной	Исландия, Словакия

Источник: рассчитано авторами.

Полученные нами результаты показывают изменение долгосрочного тренда сокращения выбросов парниковых газов российской электроэнергетикой на полном периоде (1992–2018 годы) по сравнению с более коротким периодом (1992–2011 годы). На короткой выборке Россия входила в клуб с самым высоким равновесным состоянием интенсивности выбросов парниковых газов на единицу общей выработки, но на полной она оказывается в более «экологичном» клубе (табл. 1 и 2). Более того, Россия переместилась из наименее экологически благополучного клуба, в который на обоих временных промежутках входит Казахстан, где реформа электроэнергетики прошла раньше, чем в России.

Отметим, что клуб с самым высоким равновесным состоянием выбросов сформирован странами с высокой долей угля в структуре генерации и/или несформированными рынками в силу невысокого объема спроса. После 2011 года к этим странам присоединилась Япония, утратившая атомную генерацию и не имеющая аналога оптового рынка. Россия же после 2011 года сформировала клуб с Австралией и Грецией, последовательно сокращающими в 2010-х годах долю угля в генерации (рис. 7).



Источник: построено авторами по данным ООН, ЕА.

Рис. 7. Конвергенция удельных выбросов парниковых газов (относительно общей генерации), клубы 1 и 2, 1992–2018 годы (т/млн кВт·ч)

Fig. 7. Convergence of Countries by Greenhouse Gas Emissions per Unit of Total Electricity Generated, Clubs 1 and 2, 1992–2018 (t/mln kWh)

Для показателя выбросов парниковых газов на единицу электроэнергии, произведенной из ископаемых источников топлива, анализ методом клубной конвергенции оказался неинформативен. Мы выявили конвергенцию всех стран выборки в каждый из

изучаемых периодов, за исключением Латвии, Норвегии и Швеции, что указывает на необходимость поиска другой методологии для более подробного анализа этого вопроса — более чувствительной к динамике показателя.

Выводы

В настоящей работе мы показали, используя метод клубной конвергенции, что российская реформа электроэнергетики может быть одним из факторов, оказавших влияние на динамику эмиссии парниковых газов. В случае России, где реформа электроэнергетики проводилась несколько позже аналогичных реформ в странах ОЭСР, наблюдался статистически значимый переход к более экологически благоприятному клубному равновесию после реформирования отрасли. Следует отметить, что этот вывод невозможно экстраполировать на другие страны нашей выборки или любые другие страны, в которых были проведены аналогичные реформы.

Однако наш результат представляет определенную ценность по сравнению с принятым в литературе оцениванием результатов реформ электроэнергетики с использованием панельных данных. Такой подход позволяет сделать выводы о влиянии тех или иных факторов на результативность реформ в некоторой выборке стран в среднем, тогда как оценка реформы в отдельно взятой стране, как правило, производится с использованием таких методов, как анализ затрат и выгод или модели общего экономического равновесия, которые очень чувствительны к предпосылкам и допущениям, заложенным при моделировании и калибровке. Мы же используем простую и не очень требовательную к данным методологию, которая тем не менее позволяет получить значимые свидетельства об изменении динамики выбросов загрязнений, ассоциированном с реформой электроэнергетики. Использование этого метода позволяет получить ответ на вопрос о наличии изменений в привязке к определенным временным ориентирам и может применяться в качестве первого шага в оценке результативности мер экономической политики в среднесрочной перспективе.

Оценивание методом клубной конвергенции показало, что пост-реформенный тренд выбросов парниковых газов на единицу произведенной энергии для России значимо отличался от дореформенного, соответствуя более низкому долгосрочному уровню выбросов. Мы предполагаем, что вклад в этот результат внесли переход к оптовому рынку электроэнергии и мощности, а также модернизация генерирующих мощностей, являвшаяся условием приватизации активов в ходе реформы. Таким образом, можно сделать вывод, что переход к оптовому рынку в сочетании с при-

ватизацией генерирующих компаний (при ограничении монополизации генерации электроэнергии, по крайней мере в среднесрочном периоде) и разделением ВИК на более раннем этапе способствует ускорению темпов снижения выбросов, что может быть следствием роста эффективности производства в терминах снижения физических затрат ископаемого топлива.

Реформирование отрасли как переход от естественной монополии к более либеральным формам организации, в первую очередь производства и оптовых поставок электроэнергии, не является достаточным условием для сокращения выбросов, поскольку более грязная в смысле углеродного следа энергетика может обладать по разным причинам большей экономической рентабельностью для частных инвесторов в среднесрочной перспективе. Кроме того, существуют лежащие вне плоскости функционирования отрасли факторы, препятствующие развитию тех или иных типов низкоуглеродной или безуглеродной генерации в электроэнергетике: от климатических условий до лоббирования добывающими компаниями собственных интересов. Отдельное значение имеет политическая конъюнктура, например сосредоточенная на полном замещении атомной генерации. Тем не менее наша работа показывает, что при достаточно (хотя и не максимально возможном) конкурентном рынке производителей, где частные компании конкурируют между собой и — в определенной степени — с государственной атомной и гидрогенерацией, при стабильном и значительном объеме внутреннего и внешнего спроса, связанного с энергоемкими производствами, урбанизацией, развитием инфраструктуры, возможно небольшое, но статистически значимое смещение тренда удельных выбросов в пользу уменьшения экологического следа электроэнергетики. Безусловно, дальнейшего изучения на микроуровне предприятий требует вопрос, произошло ли значимое сокращение издержек производителей вследствие перехода к реализации электроэнергии через ОРЭМ. Также интерес представляют факторы, ограничивающие дальнейшее сокращение интенсивности выбросов в разных странах, в том числе России (при сохранении генерации из ископаемых источников топлива как необходимой для компенсации волатильности спроса или предложения). Однако эта тема выходит за пределы изучения результатов создания конкурентной электроэнергетики, так как требует анализа рынков собственно ископаемого топлива и инфраструктуры его транспортировки.

Литература

1. Баркин О. Г., Волкова И. О., Кожуховский И. С., Колесник В. Г., Косыгина А. В., Лазебник А. И., Сорокин И. С., Ясин Е. Г. Электроэнергетика России: проблемы выбора модели развития. М.: Изд. дом ВШЭ, 2014. <https://publications.hse.ru/books/119225326>.

2. Вымятнина Ю. В., Раскина Ю. В., Артюхова Е. В., Бабкина Е. А. Рыночные реформы в электроэнергетике: аргументы за и против // *Экономический журнал ВШЭ*. 2022a. № 3. С. 404–428.
3. Вымятнина Ю. В., Слоев И. А., Карасева Е. Н. Опыт реформ электроэнергетики в контексте экономической теории // *Экономическая политика*. 2022b. № 3. С. 8–43.
4. Apergis N., Payne J. E. NAFTA and the Convergence of CO₂ Emissions Intensity and Its Determinants // *International Economics*. 2020. Vol. 161. P. 1–9.
5. Apergis N., Payne J. E. Per Capita Carbon Dioxide Emissions Across US States by Sector and Fossil Fuel Source: Evidence From Club Convergence Tests // *Energy Economics*. 2017. Vol. 63. P. 365–372.
6. Apergis N., Payne J. E., Rayos-Velazquez M. Carbon Dioxide Emissions Intensity Convergence: Evidence From Central American Countries // *Frontiers in Energy Research*. 2020. Vol. 7. P. 158.
7. Asane-Otoo E. Competition Policies and Environmental Quality: Empirical Analysis of the Electricity Sector in OECD Countries // *Energy Policy*. 2016. Vol. 95. P. 212–223.
8. Barro R. J., Sala-i-Martin X. Economic Growth and Convergence Across the United States. NBER. Working Paper No 3419. 1990. P. 1–61.
9. Burnett J. W. Club Convergence and Clustering of US Energy-Related CO₂ Emissions // *Resource and Energy Economics*. 2016. Vol. 46. P. 62–84.
10. Camarero M., Picazo-Tadeo A. J., Tamarit C. Are the Determinants of CO₂ Emissions Converging Among OECD Countries? // *Economics Letters*. 2013. Vol. 118. No 1. P. 159–162.
11. Clò S., Ferraris M., Florio M. Ownership and Environmental Regulation: Evidence From the European Electricity Industry // *Energy Economics*. 2017. Vol. 61. P. 298–312.
12. Du K. Econometric Convergence Test and Club Clustering Using Stata // *The Stata Journal*. 2017. Vol. 17. No 4. P. 882–900.
13. Han L., Han B., Shi X., Su B., Lv X., Lei X. Energy Efficiency Convergence Across Countries in the Context of China's Belt and Road Initiative // *Applied Energy*. 2018. Vol. 213. P. 112–122.
14. Ivanovski K., Churchill S. A. Convergence and Determinants of Greenhouse Gas Emissions in Australia: A Regional Analysis // *Energy Economics*. 2020. Vol. 92. P. 104971.
15. Jamasb T. Between the State and Market: Electricity Sector Reform in Developing Countries // *Utilities Policy*. 2006. Vol. 14. No 1. P. 14–30.
16. Joskow P. L. Lessons Learned From Electricity Market Liberalization // *The Energy Journal*. 2008. Vol. 29. No 2. P. 9–42.
17. Karakaya E., Alataş S., Yilmaz B. Replication of Strazicich and List (2003): Are CO₂ Emission Levels Converging Among Industrial Countries? // *Energy Economics*. 2019. Vol. 82. P. 135–138.
18. Markandya A., Pedroso-Galinato S., Streimikiene D. Energy Intensity in Transition Economies: Is There Convergence Towards the EU Average? // *Energy Economics*. 2006. Vol. 28. No 1. P. 121–145.
19. Nagayama H. Impacts on Investments, and Transmission/Distribution Loss Through Power Sector Reforms // *Energy Policy*. 2010. Vol. 38. No 7. P. 3453–3467.
20. Newbery D. Evolution of the British Electricity Market and the Role of Policy for the Low-Carbon Future // *Evolution of Global Electricity Markets* / F. P. Sioshansi (ed.). Academic Press, 2013. P. 3–29.
21. Panopoulou E., Pantelidis T. Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions // *Environmental and Resource Economics*. 2009. Vol. 44. No 1. P. 47–70.
22. Payne J. E., Apergis N. Convergence of Per Capita Carbon Dioxide Emissions Among Developing Countries: Evidence From Stochastic and Club Convergence Tests // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. P. 33751–33763.
23. Phillips P. C. B., Sul D. Transition Modeling and Econometric Convergence Tests // *Econometrica*. 2007. Vol. 75. No 6. P. 1771–1855.
24. Ruiz-Mendoza B. J., Sheinbaum-Pardo C. Electricity Sector Reforms in Four Latin-American Countries and Their Impact on Carbon Dioxide Emissions and Renewable Energy // *Energy Policy*. 2010. Vol. 38. No 11. P. 6755–6766.

25. Sheinbaum C., Ruiz B. J., Ozawa L. Energy Consumption and Related CO₂ Emissions in Five Latin American Countries: Changes From 1990 to 2006 and Perspectives // *Energy*. 2011. Vol. 36. No 6. P. 3629–3638.
26. Tiwari A. K., Nasir M. A., Shahbaz M., Raheem I. D. Convergence and Club Convergence of CO₂ Emissions at State Levels: A Nonlinear Analysis of the USA // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 288. P. 125093.

References

1. Barkin O. G., Volkova I. O., Kozhuhovskij I. S., Kolesnik V. G., Kosygina A. V., Lazebnik A. I., Sorokin I. S., Yasin E. G. *Elektroenergetika Rossii: problemy vybora modeli razvitiya [Russian Power Industry: Problems in Choosing a Development Model]*. Moscow, HSE Publishing House, 2014. <https://publications.hse.ru/books/119225326>. (In Russ.)
2. Vymyatnina Yu., Raskina Yu., Artyukhova E., Babkina E. Rynochnye reformy v elektroenergetike: argumenty za i protiv [Market Reforms in Electricity Sector: Pros and Cons]. *Ekonomicheskij zhurnal VSHE [HSE Economic Journal]*, 2022a, vol. 26, no. 3, pp. 404–428. DOI: 10.17323/1813-8691-2022-26-3-404-428. (In Russ.)
3. Vymyatnina Yu., Sloev I., Karaseva K. Opyt reform elektroenergetiki v kontekste ekonomicheskoy teorii [Electricity Sector Reform Experience in the Context of Economic Theory]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 2022b, vol. 17, no. 3, pp. 8–43. DOI: 10.18288/1994-5124-2022-3-8-43. (In Russ.)
4. Apergis N., Payne J. E. NAFTA and the Convergence of CO₂ Emissions Intensity and Its Determinants. *International Economics*, 2020, vol. 161, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2019.10.002>.
5. Apergis N., Payne J. E. Per Capita Carbon Dioxide Emissions Across US States by Sector and Fossil Fuel Source: Evidence From Club Convergence Tests. *Energy Economics*, 2017, vol. 63, pp. 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.11.027>.
6. Apergis N., Payne J. E., Rayos-Velazquez M. Carbon Dioxide Emissions Intensity Convergence: Evidence From Central American Countries. *Frontiers in Energy Research*, 2020, vol. 7, pp. 158. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00158>.
7. Asane-Otoo E. Competition Policies and Environmental Quality: Empirical Analysis of the Electricity Sector in OECD Countries. *Energy Policy*, 2016, vol. 95, pp. 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.05.001>.
8. Barro R. J., Sala-i-Martin X. Economic Growth and Convergence Across the United States. *NBER, Working Paper no. 3419*, 1991, pp. 1–61. <https://doi.org/10.3386/w3419>.
9. Burnett J. W. Club Convergence and Clustering of US Energy-Related CO₂ Emissions. *Resource and Energy Economics*, 2016, vol. 46, pp. 62–84. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2016.09.001>.
10. Camarero M., Picazo-Tadeo A. J., Tamarit C. Are the Determinants of CO₂ Emissions Converging Among OECD Countries? *Economics Letters*, 2013, vol. 118, no. 1, pp. 159–162. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.10.009>.
11. Clò S., Ferraris M., Florio M. Ownership and Environmental Regulation: Evidence From the European Electricity Industry. *Energy Economics*, 2017, vol. 61, pp. 298–312. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.12.001>.
12. Du K. Econometric Convergence Test and Club Clustering Using Stata. *The Stata Journal*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 882–900.
13. Han L., Han B., Shi X., Su B., Lv X., Lei X. Energy Efficiency Convergence Across Countries in the Context of China's Belt and Road Initiative. *Applied Energy*, 2018, vol. 213, pp. 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.030>.
14. Jamasb T. Between the State and Market: Electricity Sector Reform in Developing Countries. *Utilities Policy*, 2006, vol. 14, no. 1, pp. 14–30. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2004.11.001>.
15. Joskow P. L. Lessons Learned From Electricity Market Liberalization. *The Energy Journal*, 2008, vol. 29, no. 2, pp. 9–42. DOI: 10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol29-NoSI2-3.
16. Ivanovski K., Churchill S. A. Convergence and Determinants of Greenhouse Gas Emissions in Australia: A Regional Analysis. *Energy Economics*, 2020, vol. 92, p. 104971. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104971>.

17. Karakaya E., Alataş S., Yılmaz B. Replication of Strazicich and List (2003): Are CO₂ Emission Levels Converging Among Industrial Countries? *Energy Economics*, 2019, vol. 82, pp. 135-138. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.08.033>.
18. Markandya A., Pedroso-Galinato S., Streimikiene D. Energy Intensity in Transition Economies: Is There Convergence Towards the EU Average? *Energy Economics*, 2006, vol. 28, no. 1, pp. 121-145. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.10.005>.
19. Nagayama H. Impacts on Investments, and Transmission/Distribution Loss Through Power Sector Reforms. *Energy Policy*, 2010, vol. 38, no. 7, pp. 3453-3467. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.019>.
20. Newbery D. Evolution of the British Electricity Market and the Role of Policy for the Low-Carbon Future. In: Sioshansi F. P. (ed.). *Evolution of Global Electricity Markets*. Academic Press, 2013, pp. 3-29.
21. Panopoulou E., Pantelidis T. Club Convergence in Carbon Dioxide Emissions. *Environmental and Resource Economics*, 2009, vol. 44, no. 1, pp. 47-70. <https://doi.org/10.1007/s10640-008-9260-6>.
22. Payne J. E., Apergis N. Convergence of Per Capita Carbon Dioxide Emissions Among Developing Countries: Evidence From Stochastic and Club Convergence Tests. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, vol. 28, pp. 33751-33763. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09506-5>.
23. Phillips P. C. B., Sul D. Transition Modeling and Econometric Convergence Tests. *Econometrica*, 2007, vol. 75, no. 6, pp. 1771-1855. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2007.00811.x>.
24. Ruiz-Mendoza B. J., Sheinbaum-Pardo C. Electricity Sector Reforms in Four Latin-American Countries and Their Impact on Carbon Dioxide Emissions and Renewable Energy. *Energy Policy*, 2010, vol. 38, no. 11, pp. 6755-6766. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.046>.
25. Sheinbaum C., Ruíz B. J., Ozawa L. Energy Consumption and Related CO₂ Emissions in Five Latin American Countries: Changes From 1990 to 2006 and Perspectives. *Energy*, 2011, vol. 36, no. 6, pp. 3629-3638. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.023>.
26. Tiwari A. K., Nasir M. A., Shahbaz M., Raheem I. D. Convergence and Club Convergence of CO₂ Emissions at State Levels: A Nonlinear Analysis of the USA. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 288, p. 125093. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125093>.