

УДК 339

В. И. Мусихин

Всероссийская академия внешней торговли Минэкономразвития России, Люберцы,
e-mail: musikhinvladislav@gmail.com

**ЭМПИРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ,
ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБРОСЫ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА
ДЛЯ СТРАН С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ДОХОДОВ
АДАПТИВНЫМ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
КАРХУНЕНА – ЛОЭВА (РСА) ДЛЯ ПАНЕЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Ключевые слова: устойчивое развитие, выбросы углекислого газа, зеленые инвестиции, панельные данные.

В статье проведен эконометрический анализ зависимости выбросов углекислого газа от совокупности макроэкономических параметров для разных групп стран. Оценка проведена путем построения модели с фиксированными эффектами, для устранения мультиколлинеарности применен метод главных компонент. Установлено, что для рассматриваемых групп стран рост ВВП и сопутствующее увеличение потребления энергии (в том числе за счет углеводородов) ведет к росту выбросов; обратная увязка обнаружена для ПИИ, природного газа и альтернативной энергетики. Следовательно, при реализации мер, направленных на достижение целей устойчивого развития, требуется не только сбалансированное применение стимулирующих инструментов экономической политики, но и внедрение зеленых стратегий на национальном уровне.

V. I. Musikhin

Russian Foreign Trade Academy of Ministry of Economic Development
of the Russian Federation, Lyubertsy, e-mail: musikhinvladislav@gmail.com

**THE ADAPTIVE KARHUNEN–LOÈVE TRANSFORMATION (PCA)
METHOD FOR PANEL DATA EMPIRICAL ANALYSIS
OF FACTORS AFFECTING CARBON DIOXIDE EMISSIONS
FOR COUNTRIES WITH DIFFERENT INCOME LEVELS**

Keywords: sustainable development, carbon dioxide emissions, green investments, panel data.

The article provides an econometric analysis of carbon dioxide emissions' dependency on a set of macroeconomic characteristics for various sets of countries. The evaluation is carried out by creating a model with fixed effects and eliminating multicollinearity via the principal component analysis. It is demonstrated that GDP development and a corresponding increase in energy consumption (including the consumption of hydrocarbons) leads to an increase in emissions for the all of nations under examination; a reverse bind is identified for FDI, natural gas, and alternative energy. Consequently, adopting measures aimed at attaining sustainable development goals necessitates not only a balanced application of stimulating economic policy tools, along with the enactment of green initiatives at the national level.

Введение

В свете усиливающейся глобальной экологической проблематики и неотложной необходимости обеспечения устойчивого развития, анализ взаимосвязи между экономическими факторами и выбросами углекислого газа приобретает ключевое значение. В настоящем исследовании предметом является воздействие макроэкономических показателей на уровень выбросов углекислого газа в странах с различным уровнем экономического дохода. К субъектам мы относим страны с высоким

уровнем дохода (или НИС) (> 13,845 долл. США) и страны со средним-низким уровнем дохода (МЛИС) (= < 13,845 долл. США) (табл. 1), временные границы исследования с 1990 по 2020 гг.

В рамках исследования проверяются следующие гипотезы:

Гипотеза 1 (H1): экономическое развитие сопровождается повышением экологизация экономики с учетом того, что страны добровольно принимают обязательства по сокращению выбросов для обеспечения глобального устойчивого развития.

Таблица 1

Перечень субъектов в периметре исследования

НИС	MLIC
Американское Самоа, Андорра, Антигуа и Барбуда, Аруба, Австралия, Багамские Острова, Бахрейн, Барбадос, Бермудские Острова, Британские Виргинские Острова, Австрия, Бельгия, Бруней-Даруссалам, Канада, Каймановы Острова, Нормальские Острова, Чили, Хорватия, Кюрасао, Кипр, Чехия, Дания, Эстония, Фарерские Острова, Финляндия, Франция, Французская Полинезия, Германия, Гибралтар, Греция, Гренландия, Гуам, Гайана, Гонконг САР (Китай), Венгрия, Исландия, Ирландия, Остров Мэн, Израиль, Италия, Япония, Корея, Республика, Кувейт, Латвия, Лихтенштейн, Литва, Люксембург, САР Макао (Китай), Мальта, Монако, Науру, Нидерланды, Новая Каледония, Новая Зеландия, Северные Марианские Острова, Норвегия, Оман, Панама, Польша, Португалия, Пуэрто-Рико, Катар, Румыния, Сан-Марино, Саудовская Аравия, Сейшельские Острова, Сингапур, Сент-Маартен (голландская часть), Словацкая Республика, Словения, Испания, Сент-Китс и Невис, Сент-Мартин (французская часть), Швеция, Швейцария, Тринидад и Тобаго, Острова Теркс и Кайкос, ОАЭ, Великобритания, США, Уругвай, Виргинские Острова (США).	RoW

Примечание: Rest of the World – остальные страны мира.
Источник: составлено автором.

Гипотеза 2 (H2): с ростом экономики потребление электроэнергии снижается ввиду использования энергосберегающих технологий, повышения эффективности используемых ресурсов.

Гипотеза 3 (H3): рост ПИИ ведет к снижению выбросов ввиду инвестиций в зеленые технологии и модернизацию производственных мощностей.

Гипотеза 4 (H4): углеводородная зависимость противоречит зеленой повестке.

Гипотеза 5 (H5): не существует прямой статистической связи между интенсивным ростом экономики и внедрением экологически устойчивых, или «зеленых», стратегий или практик. Другими словами, позитивный или отрицательный экономический рост не обязательно влечет за собой активное применение зеленых стратегий, и наоборот.

Материалы и методы исследования

В настоящем исследовании для более эффективного понимания взаимосвязей между выбросами углекислого газа и макроэкономическими показателями применяются следующие подходы:

– модель пула (от англ. – *Pooled Model*): предполагает отсутствие каких-либо специфических временных или поперечных (кросс-секционных) эффектов; данные от различных стран и периодов объединяются в общий набор данных, при этом каждое наблюдение рассматривается как независимое и имеет одинаковое вероятностное распределение.

– модель с фиксированными эффектами (от англ. – *Fixed Effects Model*): включает индивидуальные фиктивные переменные, учитывающие фиксированные различия между странами, которые могут влиять на выбросы CO₂, что позволяет учесть структурные различия экономик устойчивые на протяжении рассматриваемого периода.

– модель со случайными эффектами (от англ. – *Random Effects Model*): предполагается, что страновые эффекты являются случайными величинами, здесь учитываются как наблюдаемые, так и не наблюдаемые факторы, оказывающие влияние на выбросы CO₂.

Для диагностики коллинеарности применен метод Белсли-Ку-Велша (далее – Belsley-Kuh-Welsch или ВКВ). Для устранения имеющейся мультиколлинеарности выбран метод главных компонент (далее – МГК) – статистический метод, направленный на уменьшение размерности данных путем преобразования их в новое пространство переменных для максимизации дисперсии данных вдоль осей, именуемых главными компонентами (далее – ГК) в целях сохранения максимально возможной информации, содержащейся в исходных данных, и одновременного исключения корреляционных связей между группами входных данных.

В данной работе используются аппроксимирующие функции, составленные методом OLS для восстановления пропусков временных рядов *Prod_elec_oil*, *Prod_elec_*

coal, Prod_elec_gas, Elec_acces и Energy_use. Заполнение пропусков в данных является важным этапом анализа временных рядов, позволяющим восстановить недостающие значения и обеспечить непрерывность ряда.

Подбор анализируемых параметров

В качестве критериального регрессора используются совокупные выбросы CO₂, измеряемые в млн. тонн (далее – CO₂_em). В качестве предикторов из обширного спектра макроэкономических показателей, влияющих на выбросы CO₂, идентифицированы следующие параметры:

1. Валовой внутренний продукт (ВВП) в текущих ценах, измеряемый в долл. США (далее – GDP_cp);
2. Доля населения, имеющего доступ к электроэнергии в % от общего числа жителей (далее – Elec_acces);
3. Численность сельского населения в чел. (далее – Rural);
4. Объем экспорта и импорта товаров в долл. США (далее – Ex_G и Im_G, соответственно);
5. Объем экспорта и импорта услуг в долл. США (далее – Service_Exp и Service_Imp, соответственно);
6. Отток и приток ПИИ в долл. США (далее – FDI_out и FDI_in, соответственно);

7. Территория суши по государству в км² (далее – Land_area);

8. Объем экспорта и импорта топливных ресурсов в долл. США (далее – Fuel_Ex и Fuel_Im, соответственно);

9. Доля производства электроэнергии, сгенерированной с использованием нефти, угля, газа и возобновляемых источников, в общем объеме производства электроэнергии (далее – Prod_elec_oil, Prod_elec_coal, Prod_elec_gas, Prod_energy_renew, соответственно);

10. Объем потребления электроэнергии, приведенный к нефтяному эквиваленту в кг (далее – Energy_use).

Источником данных является Всемирный Банк [1].

Экспериментальная часть

В ходе исследования установлено наличие мультиколлинеарности между метриками Ex_G, Im_G и Service_Exp, Service_Imp, а также между FDI_out и FDI_in, что обусловило внедрение добавочных переменных: применена композиция показателей совокупного объема торговли и инвестиций, торгового баланса и чистых инвестиций (далее – Trade_Total, FDI_Total, Trade_Balance, FDI_net соответственно). Расчет показателей осуществлен следующим образом:

$$\text{Trade_Total} = \text{Ex_G} + \text{Im_G} + \text{Service_Exp} + \text{Service_Imp} \quad (1)$$

$$\text{Trade_Balance} = \text{Ex_G} - \text{Im_G} + \text{Service_Exp} - \text{Service_Imp} \quad (2)$$

$$\text{FDI_Total} = \text{FDI_out} + \text{FDI_in} \quad (3)$$

$$\text{FDI_net} = \text{FDI_out} - \text{FDI_in} \quad (4)$$

Эмпирический анализ показал, что наибольшее влияние на CO₂_em оказывают Trade_Balance, FDI_net. Следовательно, данный показатели при построении модели будут считаться базисными (доминантными).

В итоге построения модели с фиксированными эффектами установлено:

– на уровне значимости 5% оценки модели с фиксированными эффектами состоятельны и подтверждают статистическую значимость воздействия факторов на зависимую переменную (табл. 2);

– вероятность получения неточных оценок значительно возрастает из-за сильной

корреляции между объясняющими переменными (табл. 3).

Согласно методу ВКВ, значение ≥ 30 свидетельствует о «сильной» зависимости, близкой к линейной. Оценки параметров, которые чувствительны к проблемным условиям числам, также могут считаться проблематичными.

В ходе анализа установлено, что большая часть предикторов обладают практически линейной зависимостью, соответственно, для устранения имеющейся мультиколлинеарности выбран метод главных компонент.

Таблица 2

Модель с включением двух пространственных объектов с использованием фиксированных эффектов с присутствующей совершенной мультиколлинеарностью

Длина временного ряда = 31; Зависимая переменная: CO2_em					
Показатель	Коэффициент	Ст. ошибка	t-ст	p-значение	
const	-141831	57565,4	-2,464	0,0174	**
Rural	3,74411e-06	1,13592e-06	3,296	0,0018	***
Land_area	0,00210906	0,000889857	2,370	0,0218	**
Trade_Balance	7,97929e-011	1,67835e-010	0,4754	0,6366	
Elec_acces	26,8720	23,6737	1,135	0,2620	
Fuel_balance	5,35791e-012	2,58151e-012	2,075	0,0433	**
Energy_use	1,18102e-09	1,29128e-010	9,146	<0,0001	***
Prod_energy_renew	-239,821	34,7219	-6,907	<0,0001	***
Prod_elec_oil	170,338	59,8591	2,846	0,0065	***
Prod_elec_coal	112,565	22,3139	5,045	<0,0001	***
Prod_elec_gas	16,8358	24,2883	0,6932	0,4915	
GDP_cp	8,98575e-011	1,06505e-011	8,437	<0,0001	***
FDI_net	-5,56013e-010	1,93459e-010	-2,874	0,0060	***
LSDV R-квадрат		0,998567	В пределах R-квадрат		0,998446
LSDV-оценка: F(13, 48)		2573,616	P-значение (F)		1,50e-63
Тест на различие констант в группах - Нулевая гипотеза: Группы имеют общее пересечение Тестовая статистика: F(1, 48) = 6,06915 p-значение = P(F(1, 48) > 6,06915) = 0,0173919					

Источник: составлено автором в программе Gretl 2023.

Таблица 3

Диагностика коллинеарности Белсли-Ку-Велша для построенной модели

Количество индексов состояния >= 30 Пропорции дисперсии >= 0.5:					
const	Rural	Land_area	Elec_acces~	Fuel_balance~	GDP_cp
1	1	1	1	0,652	0,983
Energy_use~	Prod_energy_renew~	Prod_elec_oil~	Prod_elec_coal	Prod_elec_gas	
0,998	0,998	0,994	0,998	0,993	

Источник: составлено автором в программе Gretl 2023.

Процесс ортогонализации с применением МГК охватывает следующие этапы:

1. Центрирование данных путем убавления каждой переменной на среднее значение переменной для центрирования совокупности данные вокруг нулевой точки.

2. Вычисление матрицы корреляции для ортогонализации переменных, элементы которой демонстрируют взаимную корреляцию регрессоров.

3. Вычисление собственных значений (меры дисперсии данных вдоль соответствующих собственных векторов) и собственных векторов матрицы корреляций, непосредственно определяющих новые оси (ГК), вдоль которых данные будут проецироваться.

4. Сортировка ГК по убыванию собственных значений так, что первая ГК объясняет наибольшую часть дисперсии данных, а последующие поочередно объясняют меньшие части.

5. Выбор количества ГК в целях минимизации размерности данных, например, нескольких первых ГК, объясняющих большую часть общей дисперсии, что позволяет сохранить основную информацию, содержащуюся в данных, отбросить шум или менее значимые аспекты.

6. Проецирование данных на новые ортогональные оси (ГК), что позволяет получить новое представление данных в пространстве с меньшей размерностью.

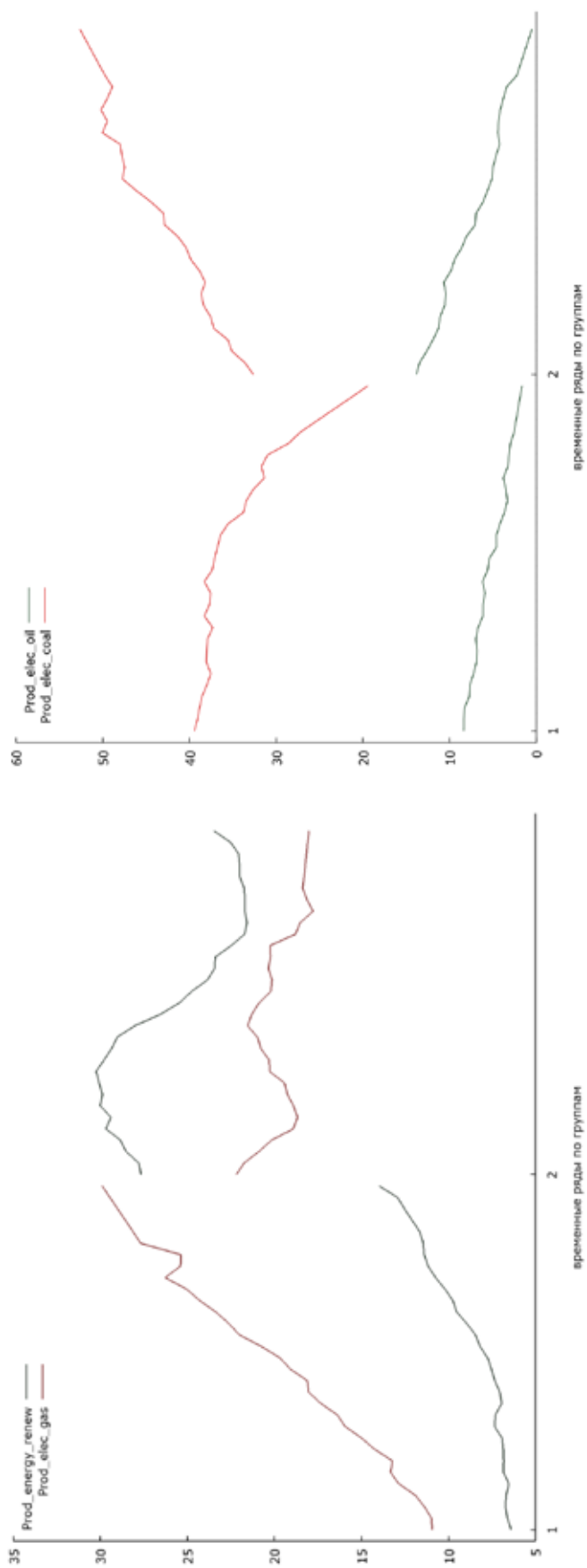


Рис. 1. (а – слева) тренды изменения показателей *Prod_elec_gas* и *Prod_energy_renew* (слева);
 (б – справа) тренды изменения показателей *Prod_elec_oil* и *Prod_elec_coal*
 Источник: составлено автором

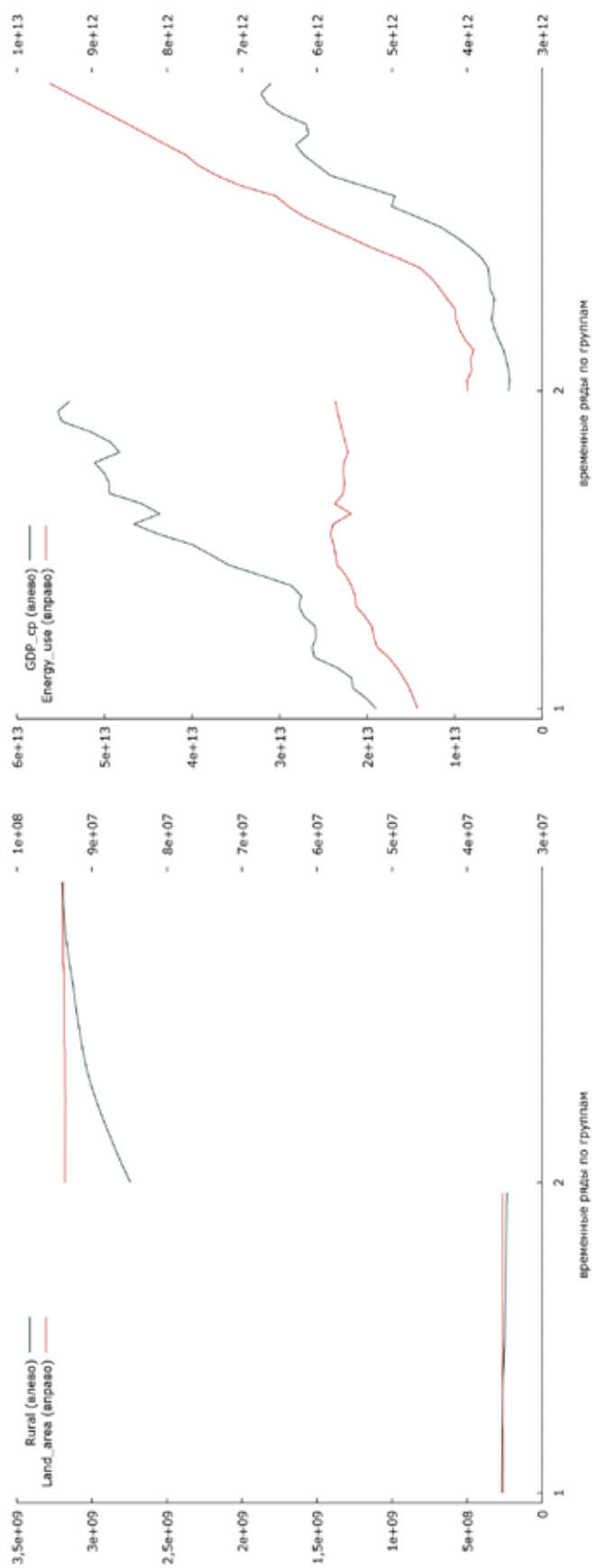


Рис. 2. (а – слева) тренды изменения показателей Rural и Land area;
(б – справа) тренды изменения показателей GDP_ср и Energy_use
Источник: составлено автором

Таблица 4

Модель с включением двух пространственных объектов с использованием фиксированных эффектов без ярко выраженной мультиколлинеарности

Длина временного ряда = 31; Зависимая переменная: CO2_em					
Показатель	Коэффициент	Ст. ошибка	t-ст	p-значение	
const	12545,7	3448,27	3,638	0,0006	***
Trade_Balance	1,23836e-09	3,98479e-010	3,108	0,0030	***
Fuel_balance	6,70702e-012	4,36416e-012	1,537	0,1303	
FDI_net	-1,45950e-09	5,14653e-010	-2,836	0,0065	***
Elec_acces	6,87273	38,5047	0,1785	0,8590	
Ind_energy	1706,93	78,7791	21,67	<0,0001	***
Dirty	966,988	112,827	8,571	<0,0001	***
Clean	-729,575	145,540	-5,013	<0,0001	***
LSDV R-квадрат	0,987935		В пределах R-квадрат	0,986917	
LSDV-оценка: F(8, 53)	542,5014		P-значение (F)	5,38e-48	
Тест на различие констант в группах - Нулевая гипотеза: Группы имеют общее пересечение Тестовая статистика: F(1, 53) = 4,41181 p-значение = P(F(1, 53) > 4,41181) = 0,0404656					

Источник: составлено автором в программе Gretl 2023

Выделение ГК в панельных данных производится для каждого субъекта отдельно, иначе полученные компоненты будут представлять собой отражение всех данных массива, а не индивидуальных для каждого субъекта.

Предикторы, представляющие доли использования различных ресурсов в производстве электроэнергии, могут использоваться для выделения ГК, отвечающих определенному экономическому смыслу, а именно использование тех или иных ресурсов. На основании общего тренда показателей было принято решение дифференцировать их на две группы: индекс производства электроэнергии (далее ИПЭЭ) «грязным» и «чистым» способами (рис. 1).

ИПЭЭ «грязным» способом (далее – «Dirty») включает относительные показатели использования нефти и угля во всем производстве электроэнергии. Для стран с высоким уровнем дохода и стран со средним и низким уровнем дохода описываемая дисперсия составляет 97,46% и 75,7% соответственно.

ИПЭЭ «чистым» способом (далее – «Clean»): включает относительные показатели использования газа и возобновляемых источников во всем производстве электроэнергии. Для стран с высоким уровнем дохода и стран со средним и низким описываемая дисперсия составляет 94,04% и 99,4% соответственно.

Показатель Land_area и Rural (рис. 2a) практически не изменяется и в статистических масштабах модели можно считать за константу, следовательно, они уже учтены в индивидуальных константах для каждого субъекта.

Схожее поведение демонстрируют показатели Energy_use и GDP_cp (рис. 2б). Это может свидетельствовать о том, что экономическое развитие всегда сопровождается ростом потребления электроэнергии, в связи с чем принято решение композиции новой ГК – Индекса устойчивости энергопотребления ВВП (далее – Ind_energy), который включает: Energy_use и GDP_cp. Для стран с высоким уровнем дохода и стран со средним и низким уровнем дохода описываемая дисперсия составляет 90,59% и 99,47% соответственно.

Следующий этап состоит в построении новой модели путем замены регрессоров на релевантные ГК (табл. 4).

Мультиколлинеарность присутствует между переменными Elec_acces, const и Ind_energy, так как коэффициенты при предикторах Elec_acces и Fuel_balance незначимы, уберем их из модели.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученная модель отвечает условию отсутствия мультиколлинеарности между регрессорами.

Таблица 5

Модель с включением двух пространственных объектов с использованием фиксированных эффектов с отсутствующей мультиколлинеарностью

Длина временного ряда = 31, Зависимая переменная: CO2_em					
Показатель	Коэффициент	Ст. ошибка	t-ст	p-значение	
const	13093,8	78,7080	166,4	<0,0001	***
Trade_Balance	1,24029e-09	3,99654e-010	3,103	0,0030	***
FDI_net	-1,94198e-09	4,09957e-010	-4,737	<0,0001	***
Ind_energy	1683,75	45,2263	37,23	<0,0001	***
Dirty	934,359	111,107	8,410	<0,0001	***
Clean	-749,353	130,852	-5,727	<0,0001	***
LSDV R-квадрат	0,987391		В пределах R-квадрат	0,986327	
LSDV-оценка: F(8, 53)	717,8384		P-значение (F)	2,41e-50	
Тест на различие констант в группах - Нулевая гипотеза: Группы имеют общее пересечение Тестовая статистика: F(1, 55) = 54,0411 p-значение = P(F(1, 55) > 54,0411) = 1,00234e-09					

Источник: составлено автором в программе Gretl 2023

В экономическом смысле показатели Trade_Balance, FDI_net и Ind_energy представляют собой ни что иное как совокупный индекс экономического развития, поскольку в условиях открытой экономики именно активное осуществление экспортно-импортных операций, рост ВВП и чистый приток ПИИ (в том числе в зеленые технологии) эквивалентно развитию национальной экономике под эгидой устойчивого развития. Анализ показал, что в совокупности данные показатели по всем рассматриваемым субъектам близки к линейному тренду, поскольку в рассматриваемый период за нивелированием локальных шоков показатели, включенные индексы в глобальном масштабе демонстрируют поступательный рост. Данный аспект требует дальнейшего анализа, в настоящем исследовании решение о сохранении предикторов обусловлено целями исследования. Следует заме-

нить, что полученные индексы не являются индексами в основном своем понимании, а представляют ГК нескольких регрессоров, следовательно, при увеличении или сокращении рассматриваемого периода, данные, содержащиеся в ГК, будут меняться; более детальная расшифровка ГК не может быть произведена из-за отсутствующих изначальных данных.

Итоговый вид модели представлен в таблице 5:

Проведение тестов на состоятельность оценок для моделей пула, с фиксированными эффектами и случайными эффектами дает возможность сделать вывод о том, что модель, построенная с использованием метода фиксированных эффектов, соответствует требованиям состоятельности оценок, и это отличает ее от двух других моделей.

Таким образом, построения модель описывает следующую зависимость:

$$CO2_{em} = 1,31e + 04 + 1,24e - 09 * Trade_{Balance} - 1,94e - 09 * FDI_{net} + 1,68e + 03 * Ind_{energy} + 934 * Dirty - 749 * Clean \quad (5)$$

Исходя из анализа коэффициентов, можно представить следующую трактовку полученных результатов, которая в равной степени применима как к развитым, так и развивающимся странам:

– при увеличении торгового баланса на 10 млрд долл. США выбросы двуокиси углерода увеличатся на 12,4 млн тонн;

– при увеличении чистых прямых иностранных инвестиций на 10 млрд долл. США выбросы двуокиси углерода снизятся на 19,4 млн тонн;

– при увеличении индекса роста потребления электроэнергии на 1 единицу производственные выбросы двуокиси углерода увеличатся на 1680 млн тонн;

– при увеличении производства электричества за счет нефти и угля на 1 единицу производственные выбросы двуокиси углерода увеличатся на 934 млн тонн;

– при увеличении производства электричества за счет природного газа и альтернативных источников энергии на 1 единицу производственные выбросы двуокиси углерода снизятся на 749 млн тонн.

Эмпирически доказано, что отказ от таких ископаемых видов топлива, как уголь и нефть ведет к снижению выбросов углекислого газа, чему также способствует потребление газа и более активное вовлечение в альтернативную энергетику. Чистый рост ПИИ ведет к падению выбросов за счет внедрения более эффективных и экологически чистых технологий, трансфера инноваций, соблюдения строгих экологических стандартов, инвестирования в НИОКР низкоуглеродных технологий, а также модернизации инфраструктуры. Инвесторы из развитых стран, ориентированные на устойчивость и сознательное управление рисками, могут поддерживать переход к более эффективному использованию ресурсов и альтернативным источникам энергии. Это способствует улучшению экологической отдачи производства, независимо от уровня развития страны, где осуществляются инвестиции. Вместе с тем, как регионы с высоким уровнем дохода, так и регионы со средним-низким уровнем дохода, имеют общую тенденцию к росту выбросов углекислого газа с течением времени. Это объясняется общим экономическим ростом данных регионов, который сопровождается увеличением ВВП, населения и объема торговли. Рост торгового баланса ведет к увеличению выбросов CO₂ из-за интенсификации производства для удовлетворения растущего спроса, увеличения транспортных операций, увеличенной добычи и переработки сырья, возможного смеще-

ния производства за границу с более низкими экологическими стандартами, роста потребления энергии и ресурсов, а также усиления спроса на энергоресурсы.

Установлено, что H1, H2 – не подтвердились, H3, H4, H5 – не опровергнуты.

Аналогичные выводы подтверждаются рядом исследований. Например, установлено, что экономический рост, как и интенсивность использования электроэнергии показывают положительное и значительное влияние на выбросы CO₂ в долгосрочной перспективе [4; 7; 5]. Так, например, на основании проведенных исследований, Вьетнам (как представитель стран со средним-низким уровнем дохода для настоящего исследования) проявляет усиленный экономический рост, который связан со снижением экологической устойчивости [6]. В Египте рост ВВП положительно влияет на выбросы CO₂ [3]. В Мексике, Индонезии, Нигерии и Турции установлено наличие коинтеграционной связи между выбросами CO₂ и факторами, их обуславливающими, присутствует положительная связь между выбросами CO₂ и потреблением энергии [2]. В долгосрочной перспективе экономический рост оказывает негативное влияние на выбросы CO₂ в Малайзии [8].

Данные выводы не опровергаются настоящим исследованием и не противоречат ему.

Таким образом, анализ представленных данных и результатов моделей позволяет выявить существенные общие факторы, влияющие на выбросы углекислого газа в странах с разными уровнями дохода, а также показывает, что реализация зеленых стратегий идет вразрез интенсивному экономическому росту, следовательно, достижение устойчивости должно сопровождаться пруденциальной стимулирующей макроэкономической политикой и активным внедрением экологических стандартов.

Библиографический список

1. Официальный сайт Всемирного банка. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://databank.worldbank.org/> (дата обращения: 16.08.2023).
2. Adebayo T.S., Awosusi A.A., Adeshola I. Determinants of CO2 Emissions in Emerging Markets: An Empirical Evidence from MINT Economies // International Journal of Renewable Energy Development. 2020. № 9(3). С. 411-422.
3. Adebayo T.S., Beton Kalmaz D. Determinants of CO2 emissions: empirical evidence from Egypt // Environmental and Ecological Statistics. 2021. № 28. С. 239–262.

4. Ahmed Z., Wang Z., Ali S. Investigating the non-linear relationship between urbanization and CO2 emissions: An empirical analysis // *Air Qual Atmos Health*. 2019. № 12. С. 945–953.
5. Raihan A., Muhtasim D.A., Khan M.N., Pavel M.I., Faruk O. Nexus between carbon emissions, economic growth, renewable energy use, and technological innovation towards achieving environmental sustainability in Bangladesh // *Cleaner Energy Syst*. 2022. № 3. DOI: 10.1016/j.cles.2022.100032.
6. Raihan A. An econometric evaluation of the effects of economic growth, energy use, and agricultural value added on carbon dioxide emissions in Vietnam // *Asia-Pacific Journal of Regional Science*. 2023. № 7. С. 665–696.
7. Raihan A., Farhana S., Muhtasim D.A. The nexus between carbon emission, energy use, and health expenditure: empirical evidence from Bangladesh // *Carbon Research*. 2022. № 1. DOI: 10.1007/s44246-022-00030-4.
8. Sohag K., Abdullah S., Jaafar M. CO2 emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. № 41(2). С. 594–601.