

Т.И. ЛАДЫКОВА

**КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ,  
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПРОЦЕССЫ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ  
В РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ\***

**Ключевые слова:** декарбонизация, качество экономического роста, региональная экономика, кластерный анализ, индикативное планирование, машинное обучение/

Статья посвящена исследованию процессов декарбонизации в Российской Федерации на основе кластерного анализа с использованием методов машинного обучения.

**Цель исследования** – оценка процессов декарбонизации по субъектам и федеральным округам РФ.

**Материалы и методы.** Информационная основа исследования состоит из статистических данных Росстата за период 2000–2021 гг. по 82 субъектам Российской Федерации, федеральным округам, городам Москва, Санкт-Петербург, Севастополь и РФ в целом. В процессе предлагаемого исследования осуществлялся корреляционный и кластерный анализ (методы «k-means» и определение медиан показателей каждого кластера). В качестве определяющих индикаторов использовались расчетные показатели отношения ВРП к уровню загрязнения атмосферного воздуха и уровню загрязнения водных объектов.

**Результаты исследования.** На основе анализа было выявлено 7 кластеров, отличающихся друг от друга различными уровнями основных аспектов декарбонизации. В первый кластер входят 5 субъектов (краткая характеристика – максимум свежей воды на душу населения, минимум выбросов на душу населения, средний уровень карбонизации ВРП по воздуху), во второй – 43 (минимум выбросов, минимум сброса и минимум карбонизации ВРП по воде), в третий – 8 (максимум сброса и максимум карбонизации ВРП по воде), в четвертый – 22 (минимум свежей воды), в пятый – 2 (значительный максимум карбонизации по воздуху и максимальный положительный баланс между улавливанием и выбросами), в шестой – 4 (баланс по улавливанию и выбросам, минимум карбонизации ВРП по воде, минимум сброса и максимум выбросов) и в седьмой кластер было включено 12 субъектов РФ (максимальная эффективность использования водных ресурсов). Кластерный анализ показал, что около половины субъектов РФ обладают минимумом выбросов, минимумом сброса и минимумом карбонизации ВРП по воздуху.

**Выводы.** Проведенный кластерный анализ процессов декарбонизации по субъектам РФ позволяет сделать вывод о том, что большая часть субъектов характеризуется эффективным использованием водных ресурсов. Также выделяются субъекты с противоположными крайними значениями по воздуху и воде (максимумом выбросов и минимумом использования свежей воды на душу населения и наоборот). Кроме того, в аспекте декарбонизации экономики РФ можно сделать вывод о том, что водные ресурсы на душу населения в субъектах РФ используются более эффективно, нежели воздушные.

**Введение.** В настоящее время декарбонизация экономики выступает одним из приоритетных направлений мировой и государственной социально-экономической политики с учетом климатической повестки в рамках стратегий

\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-10317 и Чувашской Республики, <https://rscf.ru/project/23-28-10317>.

устойчивого развития. С этими обстоятельствами также связана разработка новых моделей развития на принципах «зеленой» экономики. В узком смысле декарбонизация выступает процессом снижения выбросов парниковых газов, в первую очередь метана. В широком смысле декарбонизация охватывает большой круг проблем, решение которых будет способствовать снижению антропогенного воздействия на экосистему Земли.

Сложность проблематики декарбонизации обусловлено тем, что она получила международную актуальность сравнительно недавно. Вследствие этого идет научный поиск индикаторов моделирования, прогнозирования и планирования, а также трансформации системы статистической отчетности. В этих условиях исследователи процессов декарбонизации используют уже имеющиеся индикаторы в рамках международной системы национальных счетов, которые отражают прямо или косвенно основные аспекты данной проблематики и позволяют построить временные ряды в относительно длительном интервале.

В то же время проблематика изменения климата и необходимости декарбонизации экономики достаточно дискуссионна. При этом Россия нацелена на последовательную реализацию стратегических мероприятий, направленных на борьбу с различными видами загрязнения окружающей среды.

**Цель исследования** – оценка процессов декарбонизации по субъектам и федеральным округам РФ.

**Материалы и методы.** Для проведения качественного анализа процессов декарбонизации в субъектах РФ необходимо формирование системы индикаторов, которые выступают информационной основой исследования. Рассмотрим основные подходы по данной проблеме.

В Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (далее – Стратегии-2050)<sup>1</sup> предполагается использование таких индикаторов, как объемы суммарных и секторальных выбросов парниковых газов; объем и эффективность производства энергии; показатели энергетической эффективности в отраслях экономики; показатели, характеризующие углеродную интенсивность экономики; показатели вовлеченности отраслей и государственных структур в реализацию стратегии; объем и удельная эффективность инвестиций в снижение выбросов парниковых газов и увеличение поглощающей способности.

При построении двух сценариев (инерционного и целевого (интенсивного)) использовались следующие индикаторы: выбросы парниковых газов, поглощения и нетто-выбросы. В то же время в списке мероприятий по реализации Стратегии-2050 присутствуют повышение энергетической и экологической эффективности в секторах экономики, а также повышение доли использования вторичных энергетических ресурсов, вовлечения отходов в производственные циклы и при производстве товаров, в том числе в качестве вторичного

---

<sup>1</sup> Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/novye-postupleniya/rasporyazhenie-pravitelstva-rossiyskoy-federatsii-ot-29-10-2021-3052-r/?ysclid=llc5m42kye515512970>.

сырья или для производства топлива. Это, в свою очередь, позволяет на основе уже существующего массива статистической информации оценить субъекты РФ в аспекте готовности и реализации процессов декарбонизации.

Декарбонизация рассматривается через призму энергоперехода, поэтому используются следующие индикаторы: валовый региональный продукт, численность населения, инвестиции в основной капитал (всего и на охрану окружающей среды и РП), производство электроэнергии за вычетом внутреннего энергопотребления [4].

В качестве приоритетного направления декарбонизации предлагается анализировать проблему отходов, влияющих на здоровье населения, а также вопросы нерационального использования природных ресурсов, а не только показатели снижения выбросов парниковых газов [3].

Предлагается сравнивать темпы экономического роста с использованием стоимостного выражения ВРП и темпы роста экологической нагрузки на территорию посредством выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сброса загрязненных сточных вод, образования отходов и нарушенных земель [5], усилить взаимосвязь мероприятий декарбонизации и адаптации населения и экономики к изменениям климата и их последствиям [6], обосновываются индикаторы производственной специализации, функциональной локализации производств, масштабы и структура валового регионального продукта, объем экспорта в страны дальнего зарубежья, объемы экспорта продукции отдельных секторов экономики, подпадающих под углеводородное налогообложение [1].

Исходя из рассмотренных выше подходов в данной работе будет использоваться модифицированная система индикаторов блока «Экология» [2].

Целью кластерного анализа выступает группировка анализируемых объектов (в нашем случае субъектов РФ) в однородные кластеры. Это позволит осуществлять эффективное индикативное планирование с учетом специфических особенностей каждого кластера. В процессе кластерного анализа какой-либо социально-экономической сферы решаются следующие основные задачи: выбор и сбор необходимых статистических показателей, выравнивание и исправление полученных матриц, стандартизация данных, выбор метода кластеризации (в данном исследовании используется метод k-means), определение оптимального числа кластеров, формирование кластеров, анализ специфических характеристик кластеров. В предлагаемом исследовании последний пункт задач реализуется на основе медианных значений показателей внутри каждого кластера. Медианный метод в отличие от метода средних величин в меньшей степени зависим от выбросов и асимметричности распределения.

В процессе предлагаемого исследования осуществлялся корреляционный и кластерный анализ процессов декарбонизации в Российской Федерации. В качестве определяющих индикаторов использовались расчетные показатели отношения ВРП к уровню загрязнения атмосферного воздуха и уровню загрязнения водных объектов.

Программная составляющая исследования включала Python совместно с библиотеками Pandas, NumPy, Scikit-learn, Matplotlib.

При анализе использовались следующие индикаторы:

И1 – выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников на душу населения (кг на 1 жителя);

И2 – разница между улавливанием и выбросами загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников на душу населения (кг на 1 жителя);

И3 – использование свежей воды на душу населения (куб. м на 1 жителя);

И4 – разница между объемами оборотной и последовательно используемой и свежей воды на душу населения (куб. м на 1 жителя);

И5 – сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты на душу населения (куб. м на 1 жителя);

И6 – уровень загрязнения атмосферного воздуха при производстве ВРП (кг/млн руб.);

И7 – уровень загрязнения водных объектов при производстве ВРП (куб. м /млн руб.).

Все индикаторы являются расчетными на основе данных Росстата. При этом И2 и И4 обладают прямой зависимостью, т.е. более высокое их значение свидетельствует о более благоприятной ситуации. Остальные индикаторы демонстрируют обратную зависимость.

В процессе исследования использовались данные Росстата за период 2000–2021 гг. [7, 8]. При этом учитывалось такое обстоятельство, что в указанных источниках актуальные показатели ВРП представлены по состоянию на 2020 г. Сформированный набор показателей состоит из 14 896 записей.

**Результаты исследования.** Сначала был проведен корреляционный анализ выбранных индикаторов. При этом корреляция определяется как отношение ковариации двух индикаторов на произведение их стандартных отклонений (ковариация отражает положительную или отрицательную взаимосвязь индикаторов). Полученные коэффициенты корреляции находятся в диапазоне от  $-1$  до  $1$ . Значение данного коэффициента, равное  $1$ , свидетельствует об идеальной положительной корреляции,  $0$  – между индикаторами отсутствует какая-либо взаимосвязь,  $(-1)$  – индикаторы обладают идеальной отрицательной корреляцией (изменяются в противоположных направлениях). Полученные коэффициенты были сведены в матрицу, которую можно визуализировать, например в виде тепловой карты, которая представлена на рис. 1.

Различают следующие виды корреляции: сильная – значение больше  $0,70$ ; средняя – значение находится в интервале от  $0,50$  до  $0,69$ ; умеренная –  $0,30$ – $0,49$ ; слабая –  $0,20$ – $0,29$ ; очень слабая – меньше  $0,19$ .

Визуально не наблюдается тесных связей между индикаторами процессов декарбонизации, поэтому целесообразно проводить многомерную кластеризацию по всем индикаторам.

Поэтому далее был проведен кластерный анализ данных Росстата за 2021 г. с учетом отмеченной выше специфики показателя ВРП. Сформированный набор показателей включает 672 записи.

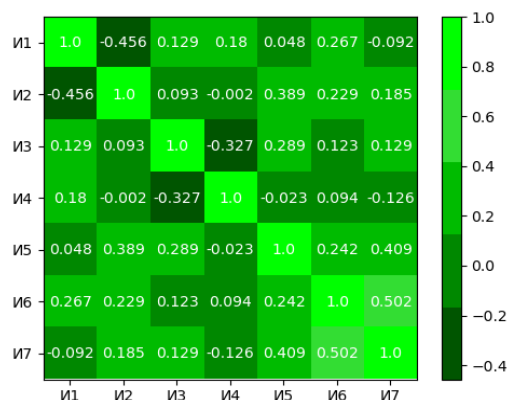


Рис. 1. Тепловая карта корреляции основных индикаторов процессов декарбонизации в субъектах РФ

Используемый в исследовании алгоритм кластеризации *k*-средних (*k*-means) является одним из самых популярных вследствие относительной его простоты и скорости вычислений. Его применяют в различных областях, в том числе при анализе экономических показателей и индикативном планировании. При этом вычисляется квадрат евклидова расстояния, на основе которого алгоритм *K*-средних минимизирует внутрикластерную сумму квадратов ошибок (SSE). При неоптимальном выборе центральных точек инициализации могут проявляться слабый эффект кластера или медленная скорость сходимости. Поэтому данный алгоритм выполняется несколько раз для набора данных и затем выбирается наиболее оптимальное число кластеров на основе суммы квадратов ошибок в кластере (SSE).

В процессе проведения кластерного анализа были получены следующие основные результаты. Было выявлено оптимальное число кластеров (рис. 2). Здесь для визуализации зависимости суммы квадратов ошибок в кластере (SSE) от их числа используется метод изгиба графика, когда он принимает более пологий вид. Кроме того, приводится тестовое распределение субъектов РФ в зависимости от заданного числа кластеров (5, 6 и 7). Анализ показывает, что в рамках данного исследования оптимальным выступает распределение субъектов РФ на 7 кластеров.

Группировка субъектов РФ по заданным кластерам приведена в табл. 1.

В целях выявления специфических особенностей субъектов РФ, входящих в тот или иной кластер, были рассчитаны медианные кластерные значения показателей. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

В первый кластер входили субъекты РФ (5), обладающие отрицательным значением индикатора – разница между объемами оборотной и последовательно используемой и свежей воды на душу населения. Поэтому не случайно они характеризовались самым высоким значением использования свежей воды на душу населения. В то же время величина индикатора выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников на душу населения, менее чем на 10% была больше минимальной. При этом

индикаторы загрязненности ВРП (карбонизации) находились на среднем среди кластеров уровне. Поэтому краткая характеристика регионов данного кластера может определяться как «максимум свежей воды, минимум выбросов, средний уровень карбонизации».

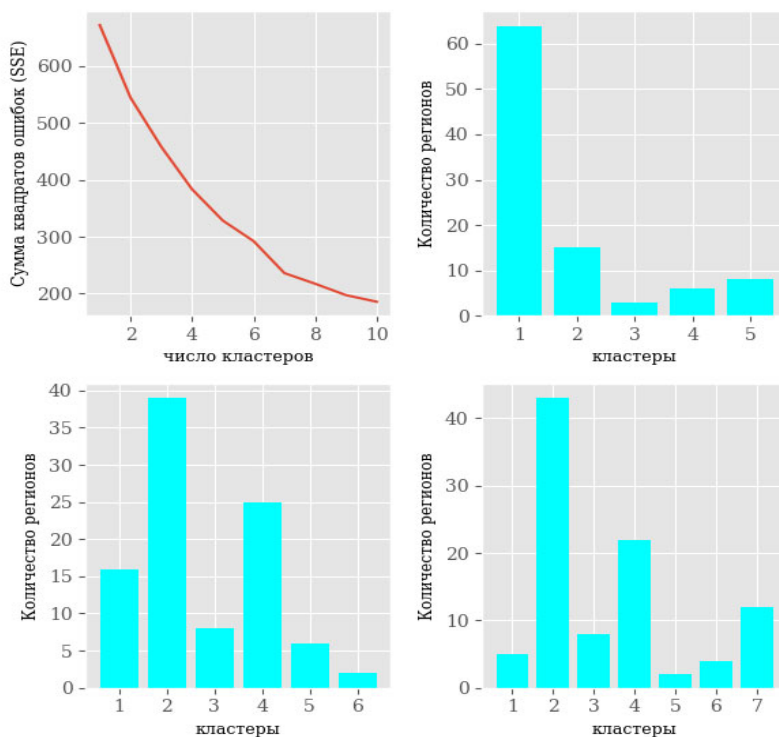


Рис. 2. Определение оптимального числа кластеров

Таблица 1

**Распределение субъектов РФ по кластерам**

Кластер	Регионы
1	Костромская область, Ленинградская область, Мурманская область, Республика Калмыкия, Ставропольский край
2	Российская Федерация, Центральный федеральный округ, Белгородская область, Брянская область, Владимирская область, Воронежская область, Калужская область, Орловская область, Тамбовская область, г. Москва, Новгородская область, Псковская область, Южный федеральный округ, Республика Адыгея, Республика Крым, Астраханская область, Волгоградская область, Ростовская область, г. Севастополь, Северо-Кавказский федеральный округ, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Чеченская Республика, Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан, Республика Мордовия, Республика Татарстан, Удмуртская Республика, Чувашская Республика, Пермский край, Оренбургская область, Курганская область, Тюменская область без автономных округов, Республика Алтай, Республика Тыва, Республика Хакасия, Алтайский край, Новосибирская область, Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия), Камчатский край, Сахалинская область

Окончание табл. 1

Кластер	Регионы
3	Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская область, Архангельская область без автономного округа, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Северная Осетия – Алания, Иркутская область, Томская область
4	Ивановская область, Московская область, Рязанская область, Тульская область, Ярославская область, Северо-Западный федеральный округ, Калининградская область, г. Санкт-Петербург, Краснодарский край, Республика Марий Эл, Кировская область, Нижегородская область, Пензенская область, Самарская область, Ульяновская область, Сибирский федеральный округ, Омская область, Дальневосточный федеральный округ, Забайкальский край, Приморский край, Хабаровский край, Еврейская автономная область
5	Красноярский край, Кемеровская область
6	Ненецкий автономный округ, Тюменская область, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Ямало-Ненецкий автономный округ
7	Курская область, Липецкая область, Смоленская область, Тверская область, Вологодская область, Саратовская область, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Челябинская область, Амурская область, Магаданская область, Чукотский автономный округ

Таблица 2

## Медианные значения по кластерам

Индикаторы	Кластеры						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
И1	66,04	63,59	171,71	75,76	732,09	990,8	189,01
И2	-14,94	1,93	6,42	143,39	878,57	-919,13	236,8
И3	1797,45	175,14	342,24	148,78	500,63	679,67	237,01
И4	-964,32	186,01	332,62	368,56	804,16	964,62	2392,87
И5	62,82	50,4	190,68	87,96	100,06	51,4	58,58
И6	171,73	123,39	279,85	156,71	1242,89	308,36	240,29
И7	181,03	104,79	425,91	200,01	185,33	19,25	108,15

Во втором, наиболее многочисленном, кластере были представлены субъекты РФ (43), имеющие минимальные значения таких индикаторов, как выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников на душу населения, сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты на душу населения и уровень загрязнения атмосферного воздуха при производстве ВРП. Соответственно, краткая характеристика – минимум выбросов, минимум сброса и минимум карбонизации ВРП по воздуху.

Третий кластер состоял из субъектов РФ (8), где индикаторы сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты на душу населения и уровня загрязнения водных объектов при производстве ВРП были максимальными. Краткая характеристика – максимум сброса и максимум карбонизации ВРП по воде.

Субъекты РФ (22), входившие в четвертый кластер (второй по численности), обладали минимальным индикатором использования свежей воды на душу населения. Краткая характеристика – минимум свежей воды.

В пятом кластере располагались субъекты РФ (2), в которых, с одной стороны, индикатор разницы между улавливанием и выбросами загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников на душу населения,

был максимальным. Причем эта разница была более значительной, нежели по другим кластерам. С другой стороны, уровень загрязнения атмосферного воздуха при производстве ВРП (карбонизация по воздуху) также был максимальным и значительным. Краткая характеристика – значительный максимум карбонизации по воздуху и максимальный положительный баланс между улавливанием и выбросами.

В шестой кластер входили субъекты РФ (4), обладающие минимальными значениями следующих индикаторов: разница между улавливанием и выбросами загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников на душу населения, и уровень загрязнения водных объектов при производстве ВРП. Кроме того, величина индикатора сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты на душу населения менее чем на 10% была больше минимального значения. При этом они характеризовались самыми высокими значениями выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников на душу населения. Краткая характеристика – баланс по улавливанию и выбросам, минимум карбонизации ВРП по воде, минимум сброса и максимум выбросов.

В седьмом кластере (третий по численности) были представлены субъекты РФ (12), обладавшие максимальной, причем значительной, разницей между объемами оборотной и последовательно используемой и свежей воды на душу населения. Краткая характеристика – максимальная эффективность использования водных ресурсов.

**Выводы.** По результатам кластерного анализа можно выделить то обстоятельство, что около половины изученных субъектов РФ (43) относятся ко второму кластеру, который в сравнительном аспекте обладает минимумом выбросов, минимумом сброса и минимумом карбонизации ВРП по воздуху. И данный факт следует признать положительным в аспекте исследуемой проблематики декарбонизации.

Положительным является также тот факт, что 22 субъекта во втором по численности четвертом кластере характеризовались минимальными индикаторами использования свежей воды на душу населения, а также 12 субъектов 7 кластера – максимумом использования водных ресурсов.

В то же время с точки зрения эффективности использования водных ресурсов выделяются 8 субъектов РФ третьего кластера, имеющие максимум сброса и максимум карбонизации ВРП по воде.

В то же время другие кластеры обладали противоречивыми тенденциями в сфере декарбонизации воздуха и воды. Например, 5 субъектов первого кластера использовали максимум свежей воды на душу населения и в то же время обладали минимумом выбросов, а также имели средний уровень карбонизации. Схожей разницей между защитой воды и воздуха характеризовались 4 субъекта шестого кластера, где был минимум сброса и максимум выбросов, а также баланс по улавливанию и выбросам и минимум карбонизации ВРП по воде.

Два субъекта, входящие в 5 кластер (Красноярский край, Кемеровская область), проводят значительную работу по защите воздушного пространства, что отражается в максимальном положительном балансе между улавливанием



и выбросами. В то же время им предстоит реализовать значительные инвестиции в этом направлении, о чем свидетельствует значительный максимум карбонизации по воздуху.

При этом положительный фактор состоит в том, что большая часть субъектов РФ характеризуется эффективным использованием водных ресурсов. Также выделяются субъекты с максимальным использованием свежей воды и одновременным минимумом выбросов вредных веществ в атмосферу на душу населения и наоборот, минимумом использования свежей воды и максимумом выбросов на душу населения. Кроме того, в аспекте декарбонизации экономики РФ можно сделать вывод о том, что водные ресурсы в субъектах РФ используются более эффективно, нежели воздушные.

Основные результаты исследования обладают определенным теоретическим и практическим значением для федеральных, региональных и муниципальных органов власти, в том числе для повышения эффективности стратегического и индикативного планирования. Обоснованный в работе методический подход может использоваться в последующих исследованиях.

#### Литература

1. Гайнанов Д.А., Гатауллин Р.Ф., Сафиуллин Р.Г. Типологизация региональных систем России в связи с процессами декарбонизации экономики // Экономика региона. 2023. № 19 (1). С. 29–44. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-1-3.

2. Ладыкова Т.И. Методологические основы построения системы индикаторов развития региональных систем [Электронный ресурс] // Oeconomia et Jus. 2022. № 3. С. 1–7. – URL: <http://oecomia-et-jus.ru/single/2022/3/1>. DOI: 10.47026/2499-9636-2022-3-1-7 (дата обращения: 25.08.2023).

3. Лебедева М.А. Проблемы декарбонизации экономики России // Проблемы развития территории. 2022. Т. 26. №2. С. 57–72. DOI: 10.15838/ptd.2022.1.118.5.

4. Минкин А.А., Кобылякова В.В., Довбий Н.С., Дегтеренко А.Н. Энергопереход: возможности и риски для России и регионов // Вестник Челябинского государственного университета. Сер. Экономические науки. 2022. № 12(470), вып. 79. С. 91–101. DOI: 10.47475/1994-2796-2022-11210.

5. Панов А.А. Макроэкономическая оценка экологического качества экономического роста на уровне региона // Вестник Кемеровского государственного университета. Сер. Политические, социологические и экономические науки. 2021. Т. 6, № 4. С. 568–578. DOI: 10.21603/2500-3372-2021-6-4-568-578.

6. Порфирьев Б.Н. Декарбонизация versus адаптация экономики к климатическим изменениям в стратегии устойчивого развития // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4(193). С. 45–54. DOI: 10.47711/0868-6351-193-45-54.

7. Приложение к сборнику «Регионы России. Социально-экономические показатели». [Электронный ресурс] // Росстат: сайт. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Pril\\_Region\\_-\\_Pokaz\\_2022.rar](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Pril_Region_-_Pokaz_2022.rar) (дата обращения: 25.08.2023).

8. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.

---

**ЛАДЫКОВА ТАТЬЯНА ИВАНОВНА** – кандидат экономических наук, доцент кафедры макроэкономической политики и стратегического управления, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва; доцент кафедры государственного и муниципального управления и региональной экономики, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары ([ladykova@mail.ru](mailto:ladykova@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3125-8429>).

---

Tatiana I. LADYKOVA

**CLUSTER ANALYSIS OF INDICATORS  
CHARACTERIZING DECARBONIZATION PROCESSES  
IN THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION**

**Key words:** decarbonization, quality of economic growth, regional economy, cluster analysis, indicative planning, machine learning/

The article is devoted to the study of decarbonization processes in the Russian Federation based on cluster analysis using machine learning methods.

**The purpose of the study** is to assess decarbonization processes in the subjects and federal districts of the Russian Federation.

**Materials and methods.** The information basis of the study consists of statistical data from Rosstat for the period 2000-2021 for 82 subjects of the Russian Federation, federal districts, the cities of Moscow, St. Petersburg, Sevastopol and the Russian Federation as a whole. In the process of the proposed study, correlation and cluster analysis was carried out ("k-means" methods and determining the median indicators of each cluster). Estimate indicators of the ratio of GRP to the level of atmospheric air pollution and the level of water bodies' pollution were used as determining indicators.

**Results.** Based on the analysis, 7 clusters were identified, differing from each other by levels of the main aspects of decarbonization. The first cluster includes 5 subjects (brief description – maximum fresh water per capita, minimum emissions per capita, average carbonisation level), the second – 43 subjects (minimum emissions, minimum discharge and minimum carbonisation of GRP by air), the third – 8 subjects (maximum discharge and maximum carbonisation of GRP by water), in the fourth – 22 subjects (minimum of fresh water), in the fifth – 2 subjects (significant maximum of carbonisation by air and maximum positive balance between capture and emissions), in the sixth – 4 subjects (balance of capture and emissions, minimum carbonisation of GRP by water, minimum discharge and maximum emissions) and the seventh cluster included 12 subjects of the Russian Federation (maximum efficiency of water resources use). Cluster analysis has shown that about half of the subjects of the Russian Federation are characterized by minimum of emissions, minimum of discharge and minimum of GRP carbonisation by air.

**Conclusions.** The conducted cluster analysis of decarbonization processes in the subjects of the Russian Federation makes it possible to conclude that most of the subjects are characterized by efficient use of water resources. There are also subjects with opposite extremes in air and water (maximum emissions and minimum use of fresh water per capita and vice versa). In addition, in the aspect of decarbonization of the Russian economy, it can be concluded that water resources per capita in the subjects of the Russian Federation are used more efficiently than air resources.

### References

1. Gainanov D.A., Gataullin R.F., Safiullin R.G. *Tipologizatsiya regional'nykh sistem Rossii v svyazi s protsessami dekarbonizatsii ekonomiki* [Typologization of Russia's regional systems in connection with the processes of decarbonization of the economy]. *Ekonomika regiona*, 2023, no. 19(1), pp. 2–44. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-1-3.
2. Ladykova T.I. *Metodologicheskie osnovy postroeniya sistemy indikatorov razvitiya regional'nykh sistem* [Methodological foundations of building a system of indicators for the development of regional systems]. *Oeconomia et Jus*, 2022, no. 3, pp. 1–7. Available at: <http://oecomia-et-jus.ru/single/2022/3/1>. DOI: 10.47026/2499-9636-2022-3-1-7.
3. Lebedeva M.A. *Problemy dekarbonizatsii ekonomiki Rossii* [Problems of decarbonization of the Russian economy]. *Problemy razvitiya territorii*, 2022, vol. 26, no. 2, pp. 57–72. DOI: 10.15838/ptd.2022.1.118.5.
4. Minkin A.A., Kobilyakova V.V., Dovbii N.S., Degterenko A.N. *Energoperekhod: vozmozhnosti i riski dlya Rossii i regionov* [Energy transition: opportunities and risks for Russia and the regions]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Ekonomicheskie nauki*, 2022, no. 12(470), idss. 79, pp. 91–101. DOI: 10.47475/1994-2796-2022-11210.

5. Panov A.A. *Makroekonomicheskaya otsenka ekologicheskogo kachestva ekonomicheskogo rosta na urovne regiona* [Macroeconomic assessment of the environmental quality of economic growth at the regional level]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Politicheskie, sotsiologicheskie i ekonomicheskie nauki*, 2021, vol. 6, no. 4, pp. 568–578. DOI: 10.21603/2500-3372-2021-6-4-568-578.

6. Porfir'ev B.N. *De karbonizatsiya versus adaptatsiya ekonomiki k klimaticheskim izmeneniyam v strategii ustoichivogo razvitiya* [Decarbonization versus adaptation of the economy to climate change in a sustainable development strategy]. *Problemy prognozirovaniya*, 2022, no. 4(193), pp. 45–54. DOI: 10.47711/0868-6351-193-45-54.

7. Prilozhenie k sborniku «Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli». [Appendix to the collection "Regions of Russia. Socio-economic indicators"]. Available at: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Pril\\_Region\\_Pokaz\\_2022.rar](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Pril_Region_Pokaz_2022.rar).

8. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli*. 2022: stat. sb. [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2022]. Moscow, 2022, 1122 p.

---

**TATIANA I. LADYKOVA** – Candidate of Economics Sciences, Associate Professor, Department of Macroeconomic Policy and Strategic Management, Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow; Associate Professor, Department of State and Municipal Management and Regional Economy, Chuvash State University, Russia, Cheboksary ([ladykova@mail.ru](mailto:ladykova@mail.ru)); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3125-8429>.

---

**Формат цитирования:** *Ладыкова Т.И.* Кластерный анализ показателей, характеризующих процессы декарбонизации в регионах Российской Федерации [Электронный ресурс] // *Oeconomia et Jus.* – 2023. – № 4. – С. 22–32. – URL: <http://oecomia-et-jus.ru/single/2023/4/3>. DOI: 10.47026/2499-9636-2023-4-22-32.