

Научная статья

УДК 330.342.3/4

JEL: Q50, Q57, O34

<https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.2.209-227>

Ландшафт научных исследований по проблемам декарбонизации и достижения углеродной нейтральности национальных экономик

Садриев Азат Рафаилович¹, Васильев Руслан Александрович²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет; Казань, Россия

¹ a-sadriev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3336-4217>

² vasilyevruslan@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0003-6163-0241>

Аннотация

Цель статьи – формирование комплексного представления о закономерностях публикационной активности в области декарбонизации, сложившихся в глобальном и российском научном пространстве, для выявления на этой основе перспективных научных направлений, способных определить новые исследовательские горизонты в поиске путей достижения углеродной нейтральности.

Методы. Использованы методы библиографического и библиометрического анализа научных публикаций. Источником информации послужили базы данных Scopus и eLibrary. Глубина исследования охватывает период 2012–2022 гг. Методикой исследования предусмотрено решение трех задач. Во-первых, выявление количественной динамики глобальной публикационной активности в сфере декарбонизации. Во-вторых, исследование закономерностей публикационной активности на уровне видов научно-исследовательских организаций, стран, ключевых слов, смежных тем, научных изданий, предметных областей, тематических групп, а также кластеров тематических групп. В-третьих, семантический анализ публикаций и выявление точек исследовательского интереса в разрезе глобального и российского научного пространства.

Результаты работы. Установлено, что библиографическая кластеризация исследований по проблемам декарбонизации происходит не столько вокруг технических и технологических решений, сколько в концептуально более широких координатах. Определено, что интерес к достижению углеродной нейтральности возникает преимущественно в экономиках с высоким уровнем жизни, менталитет граждан которых характеризуется большими социальной ответственностью и стремлением обеспечить качество жизни будущих поколений. Выявлено, что в глобальном научном сообществе проблемы декарбонизации являются центром гравитации наиболее сильных исследователей и научных коллективов, но в России данная тематика сопоставимым позиционированием пока еще не характеризуется.

Выводы. Систематизация исследований в области декарбонизации, которые стремительно развиваются как с точки зрения объемных показателей, так и с точки зрения усиления их междисциплинарности и общественной значимости, является важнейшим условием эффективной научной ориентации и исследовательской маршрутизации в крайне фрагментированном и противоречивом пространстве разработок по проблемам глобального энергетического перехода.

Ключевые слова: декарбонизация, научный ландшафт, научная публикация, библиографический анализ, библиометрический анализ

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-18-00171, <https://rscf.ru/project/22-18-00171/>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Садриев А. Р., Васильев Р. А. Ландшафт научных исследований по проблемам декарбонизации и достижения углеродной нейтральности национальных экономик // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2024. Т. 15. № 2. С. 209–227

EDN: <https://elibrary.ru/fyagh>. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.2.209-227>

© Садриев А. Р., Васильев Р. А., 2024



Original article

Landscape of scientific research on the problems of decarbonization and achieving carbon neutrality of national economies

Azat R. Sadriev¹, Ruslan A. Vasilev²^{1,2} Kazan (Volga region) Federal University (KFU); Kazan, Russia¹ a-sadriev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3336-4217>² vasilyevruslan@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0003-6163-0241>

Abstract

Purpose: is to form a comprehensive understanding of the patterns of publication activity in the field of decarbonization that have developed in the global and Russian scientific space, in order to identify promising scientific areas on this basis that can define new research horizons in achieving carbon neutrality.

Methods: the research methods involved bibliographic and bibliometric analyses of scholarly publications, utilizing data from the Scopus and eLibrary databases. The study encompasses the timeframe from 2012 to 2022. The research methodology is structured to address three key objectives. Firstly, it aims to identify the quantitative dynamics of global publication activity in the realm of decarbonization. Secondly, the investigation seeks to analyze publication patterns at the levels of research organizations, countries, keywords, related topics, scientific publications, subject areas, and thematic groups, including clusters of thematic groups. Thirdly, the research involves semantic analysis of publications and the identification of points of research interest within the contexts of both global and Russian scientific landscapes.

Results: it has been established that bibliographic clustering of studies on decarbonization problems occurs not so much around technical and technological solutions, but in conceptually broader coordinates. It has been identified that the aspiration for carbon neutrality is predominantly observed in economies characterized by a high standard of living, where citizens exhibit a heightened sense of social responsibility and a greater commitment to enhancing the quality of life for future generations. It was revealed that if the global problems of decarbonization are the center of gravity of the most powerful researchers and scientific teams, but in Russia this topic is not yet characterized by a comparable positioning.

Conclusions and Relevance: systematization of decarbonization research, which is rapidly developing both in terms of volume indicators and in terms of increasing its interdisciplinarity and social relevance, is the most important condition for effective scientific orientation and research routing in a highly fragmented and contradictory development space on the problems of the global energy transition.

Keywords: decarbonization, scientific landscape, scientific publication, bibliographic analysis, bibliometric analysis

Acknowledgments. The study was performed by the grant from the Russian Science Foundation (project № 22-18-00171), URL: <https://rscf.ru/project/22-18-00171/>.

Conflict of Interest. The authors declare that there is no Conflict of Interest.

For citation: Sadriev A. R., Vasilev R. A. Landscape of scientific research on the problems of decarbonization and achieving carbon neutrality of national economies. *MIR (Modernizatsiia. Innovatsii. Razvitie) = MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2024; 15(2):209–227. (In Russ.)

EDN: <https://elibrary.ru/fyfagh>. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.2.209-227>

© Sadriev A. R., Vasilev R. A., 2024

Введение

Переход от нишевого восприятия климатической повестки к ее позиционированию в качестве одного из важнейших инструментов сквозного управления научно-техническим прогрессом предопределил появление в мировой науке новой предметной области – декарбонизации. По своей сути декарбонизация стала целенаправленно созданной системой координат, в границах которой выстраивается логика технологических, социально-экономических, политических и правовых изменений, сориентированных на формирование глобальной углеродно-нейтральной среды.

Наступление активной фазы этих изменений, последовательность и индикаторы которых теперь определены международными соглашениями и закреплены национальными законодательными актами, радикально усилило динамику накопления соответствующих теоретических знаний и эмпирических данных. Как результат – резко выросла сложность принятия сбалансированных, последовательных, согласованных и своевременных управленческих решений по реализации энергетического перехода. Особую актуальность эта проблема приобрела для отечественной экономики, развитие которой, после утверждения 27 октября

2023 г. новой климатической доктрины Российской Федерации, должно во многом проходить в русле приоритета достижения ею углеродной нейтральности к 2060 г. Неудивительно, что в этой связи особый интерес стали приобретать исследования, направленные на формализацию и систематизацию различных фрагментов пространства научных и научно-практических разработок в области декарбонизации.

Именно поэтому целью данной статьи является исследование ландшафта научных исследований по проблемам декарбонизации и достижения углеродной нейтральности национальных экономик. Такой ландшафт раскрывает как сложившиеся фронтиры, так и перспективные исследовательские направления в чрезвычайно фрагментированном пространстве разработок в области декарбонизации, позволяя управлять целеполаганием как уже выполняемых, так и еще только планируемых в ее контуре научных исследований.

Обзор литературы и исследований

Научный ландшафт представляет собой многомерное пространство научных публикаций, в котором определяются тенденции публикационной активности, раскрываются ключевые тематические направления проведения научных разработок, а также проявляется географическое и институциональное распределение публикуемых научных трудов в рамках определенной научной области. Методологическую основу процедур исследования научного ландшафта составляют методы библиографического, библиометрического и семантического анализа.

Ландшафтный подход в исследовании декарбонизации реализуется, как правило, в 4-х основных проекциях: правовой, инвестиционной, научной и патентной. Каждая из этих проекций по-разному раскрывает проблемы формирования безуглеродной экономики, позволяя в совокупности оценить глубину, масштаб, влияние и динамику глобально-го энергетического перехода.

В правовых ландшафтах декарбонизация исследуется с точки зрения сравнения и обобщения законодательной базы, сложившейся либо на уровне разных стран мира и различных интеграционных объединений, либо на уровне отдельных видов экономической деятельности, рассматриваемых в этом случае сквозь призму многообразия их трансграничных проявлений.

Систематизации регуляторных практик декарбонизации, накопленных разными странами мира, посвящены научные разработки S. Bernstein и M. Hofman [1], M. Ahman, L.J. Nilson, B. Johansson [2] и других исследователей. Многоуровневая система законодательных актов, регулирующих пере-

ход к безуглеродной экономике в США, раскрывается в работе J.C. Dernback и M.B. Gerrard [3]. Сформированный ими правовой ландшафт демонстрирует содержание, направления и динамику взаимоотношений между разными субъектами декарбонизации, находящимися на различных уровнях политического устройства данной страны. На уровне ЕС аналогичное исследование проведено K. Szulecki [4]. Его характерной особенностью является внимание к ландшафту неформального политического взаимодействия между участниками процессов декарбонизации, вынесенного за рамки регламента официальных программных документов данного интеграционного объединения.

К формату правовых ландшафтов, фокусирующихся на отдельных отраслях или видах экономической деятельности, следует отнести исследование J. Gheuens [5]. В нем обобщается нормативно-правовая база ЕС, регулирующая декарбонизацию в сфере автомобильного транспорта, и проводится оценка степени ее зрелости с точки зрения внутренней согласованности, адаптивности к внешним изменениям и ориентации на долгосрочные приоритеты энергетического перехода. В контексте индустрии морских грузоперевозок ландшафтный подход реализован в исследовании K. Tikka и S. Esau [6]. Его результатом стало обоснование возможности и целесообразности унификации национальных и международных законодательных актов, регламентирующих политику декарбонизации в рамках данной сферы экономической деятельности. По-иному логика построения правового ландшафта декарбонизации в сфере морских грузоперевозок реализована в исследовании J. Dong, J. Zeng, Y. Yang, H. Wang [7]: в нем формализуется контур нормативных документов, определяющих взаимодействие профильных регуляторов в различных национальных экономиках и в экономике ЕС с Международной судоходной организацией. Отраслевой срез законодательства, регламентирующего декарбонизацию в сфере коммунальной энергетики, представлен в работе R. Cavanagh [8].

Ландшафты, раскрывающие пространство инвестиционного обеспечения декарбонизации, так же, как и в случае с правовыми ландшафтами, чаще всего разрабатываются в контуре определенных национальных экономик. Такие исследования на примере экономики Италии провели M. Beccarello и G. Di Foggia [9]; Китая – K. Li, X. Tan, Y. Yan, D. Jiang, S. Qi [10]; Великобритании – B.K. Sovacool, F.W. Geels, M. Iskandarova [11]; Франции [12] – C. Gerbaulet, C. von Hirschhausen, C. Kemfer, C. Lorenz, P.-Y. Oei; стран БРИКС [13] и Омана [14] – I. Hamid и M.S. Alam с соавторами.

Пространство инвестиционных возможностей декарбонизации больших городов раскрывается L.G.

Echeverri в исследовании [15]. Инвестиционная привлекательность использования безуглеродных технологий рассматривается им в отношении важнейших сфер городского хозяйства, включая строительство, транспорт, водоснабжение, теплоснабжение и утилизацию отходов. В призме масштабного международного проекта «Пути глубокой декарбонизации» ("Deep Decarbonization Pathways Project"), к реализации которого привлечены крупнейшие страны-эмитенты парниковых газов, инвестиции в обеспечение энергетического перехода анализируются С. Bataille, Н. Waisman, М. Colombier и др. [16]. Особенностью исследования S. Vogeles, V.T. Josyabhatla, С. Ball и др. [17] является ориентация на разные сценарии глобальных климатических изменений, каждый из которых соотносится авторами с различными параметрами инвестиционного обеспечения развития безуглеродных технологий.

Ландшафты научных исследований по проблемам декарбонизации, как правило, делятся на две группы. Первая группа ориентирована на использование методов наукометрического анализа публикаций данной предметной области [18–19]. Вторая группа направлена на систематизацию направлений проведения научных разработок в контуре отдельных аспектов декарбонизации, традиционно формируемых по отраслевому [20–23] или по технологическому признаку [24–26]. По сопоставимой структуре могут быть классифицированы и патентные ландшафты. Одна их часть формируется вокруг территориально ориентированных ландшафтов [27–28], а другая – технологически ориентированных [29–30].

Обобщая результаты проведенного литературного обзора, можно сделать вывод о том, что общественная значимость проблем декарбонизации глобальной экономики предопределяет стремительное расширение и усложнение пространства связанных с этим исследований. Его возрастающая энтропия обуславливает потребность в систематизации накапливаемых при этом теоретических знаний и практического опыта. Научные, правовые, патентные, инвестиционные и многие другие ландшафты, выступая конечным результатом такой систематизации, становятся эффективным инструментом сквозной междисциплинарной ориентации и навигации участников энергетического перехода.

Между тем, исследования научного ландшафта по проблемам декарбонизации, методикой которых было бы предусмотрено выявление, сопоставление и интерпретация качественных и количественных закономерностей в публикационной активности исследователей из глобального научного сообщества в целом и российского научного про-

странства в частности, пока еще не получили своего развития, что предопределяет актуальность выполнения работ в этой части.

Материалы и методы

Методика проведения данного исследования базируется на использовании методов библиографического, библиометрического и семантического анализа, возможности которых были расширены за счет функционала методов вертикального и горизонтального анализа массива научных данных. Архитектура исследуемого ландшафта научных публикаций в области декарбонизации включает два основных уровня: уровень глобального исследовательского пространства и уровень российского научного сообщества. Такая архитектурная концепция обусловила состав используемых для проведения аналитических процедур исследовательских данных, которые включают библиографическую и реферативную базу данных рецензируемой научной литературы Scopus, а также базу данных российской электронной научной библиотеки eLibrary. Основная глубина исследования охватывает период 2012–2022 гг., на который приходится наиболее интенсивная и продуктивная научная активность за всю историю изучения проблем декарбонизации и достижения углеродной нейтральности. Для рассмотрения отдельных аналитических срезов глубина архива используемых данных была увеличена до 2000 г.

Первый этап предлагаемой методики ориентирован на выявление общей количественной динамики публикационной активности на каждом из уровней исследуемой предметной области. В целях обозначения границ был использован единый многозначный поисковый запрос для баз данных Scopus и eLibrary. Основу этого запроса составили ключевые слова «декарбонизация» (decarbonization) и «углеродная нейтральность» (carbon neutrality), а также набор соответствующих им производных слов. Процедуры сбора и обработки необходимой для этого информации были проведены с использованием, во-первых, аналитического модуля SciVal базы данных Scopus, во-вторых, поискового модуля российской электронной библиотеки eLibrary.

Исследование закономерностей публикационной активности, проявляющихся в контексте видов научно-исследовательских организаций (institutions), стран и регионов (countries and regions), ключевых слов (key phrases), смежных тем (related topics), уровня научных изданий (journal quartile), предметных областей (subject area), тематических групп (topic) и кластеров тематических групп (topic cluster), составило основу второго этапа методики проведенного исследования. Для выявления таких закономерностей проведен вертикальный и горизонтальный анализ следующих аналитических

показателей: число публикаций (scholarly output), число просмотров (views count) и число цитирований научных публикаций (citation count), индекс научного цитирования (field-weighted citation impact – FW CI) и индекс релевантности (relatedness). Целью проведения вертикального анализа является получение данных о закономерностях распределения публикаций по каждому из этих показателей, включая оценку доли публикаций с соизмеримыми значениями показателей в общем числе публикаций анализируемой выборки. Назначением горизонтального анализа является выявление динамики значений анализируемых показателей во времени.

Наконец, третий этап исследования был сориентирован на проведение вертикального и горизонтального семантического анализа облака ключевых слов, раскрывающих содержание выборки анализируемых научных публикаций, и на идентификацию на этой основе важнейших исследовательских направлений в рассматриваемой предметной области. Работы, выполненные в рамках данного этапа, позволили не только выявить основные закономерности публикационной активности, но и провести их сопоставительный анализ в разрезе глобального и российского научного сообщества.

Результаты исследования

Количественный анализ публикационной активности

Поиск в базе данных Scopus по ключевым словам «decarbonization» и «carbon neutrality» (далее – decarbonization) за период 2012–2022 гг. показал наличие 13 303-х публикаций, на которые приходится 644 674 просмотра и 27 2391 цитирование (по данным на 01.01.2023 г.). Следует отметить, что не все публикации за 2022 г. были проиндексированы на дату обращения к базе данных. В этой связи информация по публикациям из базы данных Scopus за 2022 г. была исключена из отдельных аналитических срезов.

Данные публикации входят в структуру 5-ти больших библиографических кластеров, представленных в тематических группах (ТГ), раскрывающих различные аспекты декарбонизации и достижения углеродной нейтральности. Из представленной в табл. 1 информации следует, что больше всего таких тематических групп находится в контуре системообразующего первого кластера, который объединяет 92,2% всех публикаций, относящихся к сфере декарбонизации.

Таблица 1

Основные показатели публикационной активности в разрезе тематических групп в области декарбонизации за период 2012–2022 гг. (Scopus)

Table 1

The main indicators of publication activity in the context of thematic groups in the field of decarbonization in the period 2012–2022 (Scopus)

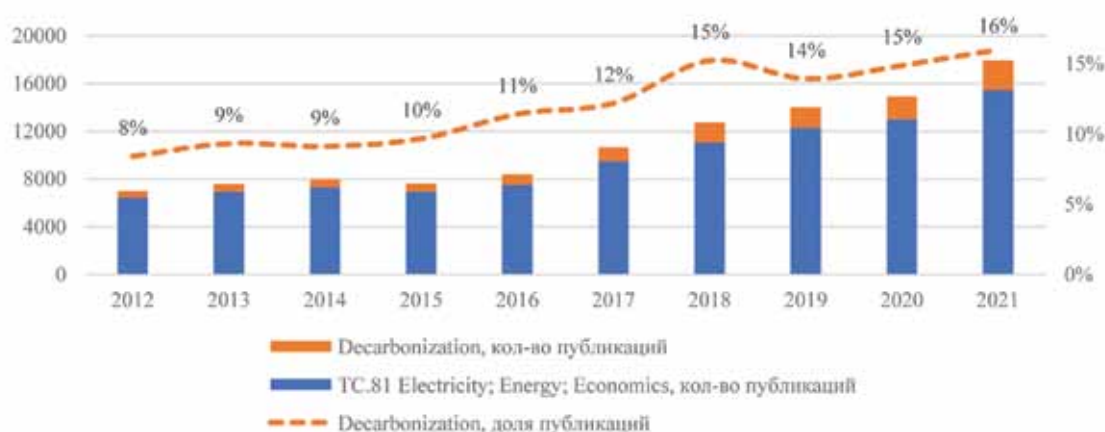
Кластер	Тематическая группа	Кол-во публ.	Кол-во просм.	Кол-во цит.	FW CI
TC.81 Electricity; Energy; Economics	T.5457 Energy Transition; Innovation System; Sustainability	6126	350219	114365	1,80
	T.3285 Integrated Assessment Model; Carbon; Global Temperature Increase	4630	197373	121530	2,21
	T.25884 Decarbonization; Energy Systems; Scenarios	1234	52666	21099	1,26
	T.77028 Overcapacity; Carbon Emissions; China	165	5625	3592	1,57
	T.77993 Industrial Energy; Carbon Emissions; Electricity Supply	110	4594	1357	1,37
TC.635 Carbon Capture; Shale; Storage (Materials)	T.23437 Climate Change; Carbon Dioxide Capture and Storage; Storage Technology	889	29995	8781	0,88
TC.663 Forest; Deforestation; Conservation	T.89169 Environmental Politics; Climate; Military Activities	56	1190	458	1,40
TC.955 Ecosystem Services; Willingness to Pay; Valuation	T.89806 Decarbonization; China; Nuclear Power	44	1320	628	1,18
TC.1142 Energy Harvesting; Harvesters; Piezoelectricity	T.93689 Electric Vehicles; Renewable Resources; Fossil Fuels	49	1692	581	0,79

Составлено авторами.

Compiled by the authors.

Выявленные тематические группы по-разному позиционируются в соответствующих библиографических кластерах. Так, в первом кластере, включающем 111 тематических групп, на 5 групп из сферы декарбонизации приходится 12,8% всех входящих в его структуру публикаций и 15,8% всех научных цитирований этого кластера. При этом значение показателя FW CI для публикаций этих 5-ти тематических групп находится на уровне 1,94, что на 35% выше среднего для данного кластера значения.

Из этого можно сделать вывод о том, что современный этап решения проблем достижения углеродной нейтральности характеризуется нацеленностью исследователей на их погружение в пространство функционирования не столько технических, сколько экономических систем различного уровня управления. При этом, судя по данным рис. 1, публикации, подготовленные в такой исследовательской проекции, за период 2012–2021 гг. практически удвоили свою долю в структуре библиографического кластера «TC.81 Electricity; Energy». Economics».



Составлено авторами по данным Scopus. URL: <https://scopus.com> (дата обращения: 01.01.2023)

Рис. 1. Доля публикаций по проблеме декарбонизации в структуре библиографического кластера «TC.81 Electricity; Energy; Economics» в период 2012–2021 гг.

Compiled by the authors according to Scopus data. URL: <https://scopus.com> (accessed: 01.01.2023)

Fig. 1. The share of publications on the problem of decarbonization in the structure of the bibliographic cluster "TC.81 Electricity; Energy; Economics" in the period 2012–2021

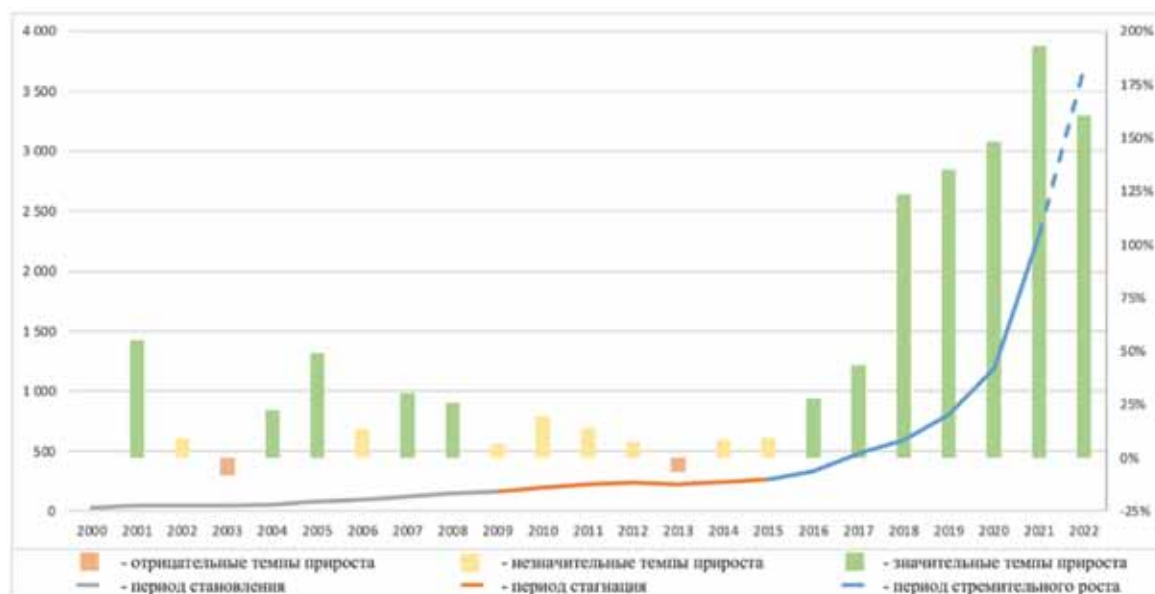
Дальнейший анализ публикаций по проблемам декарбонизации в рамках кластера «TC.81 Electricity; Energy; Economics» позволил обнаружить три отдельных временных отрезка, границы которых формируются точками опережающего исследовательского интереса к проблемам энергетического перехода: период становления в 2000–2008 гг., период стагнации в 2009–2015 гг. и период стремительного роста в 2016–2022 гг. (рис. 2).

Повышающий тренд под первый из этих отрезков начал закладываться еще в 1997 г., после принятия Киотского протокола, вступление которого в силу в 2005 г. продолжило поддерживать рост публикационной активности еще несколько лет – до 2009 г. Драйверами увеличения числа соответствующих научных публикаций для второго и третьего из анализируемых отрезков стали заключение в 2015 г. Парижского соглашения, определившего цели устойчивого развития (Sustainable Development Goals – SDG), разработка Атласа

SDG, закрепившего в 2018 г. национальные приоритеты устойчивого развития, а также запуск в 2019 г. Европейского зеленого курса, сориентировавшего еврозону на достижение углеродной нейтральности к 2050 г.

Если обратить внимание на второй по величине из рассматриваемых кластеров, то можно увидеть планомерное снижение его доли в общем объеме научных публикаций по проблемам декарбонизации на протяжении всего анализируемого периода времени (рис. 3).

С одной стороны, это объясняется объективными причинами опережающего роста «гуманитарного» кластера «TC.81 Electricity; Energy; Economics», а с другой стороны – особенностями создания безуглеродных технологий, необходимость защиты интеллектуальных прав на которые существенно ограничивает возможности официального разглашения информации о них до даты приоритета.

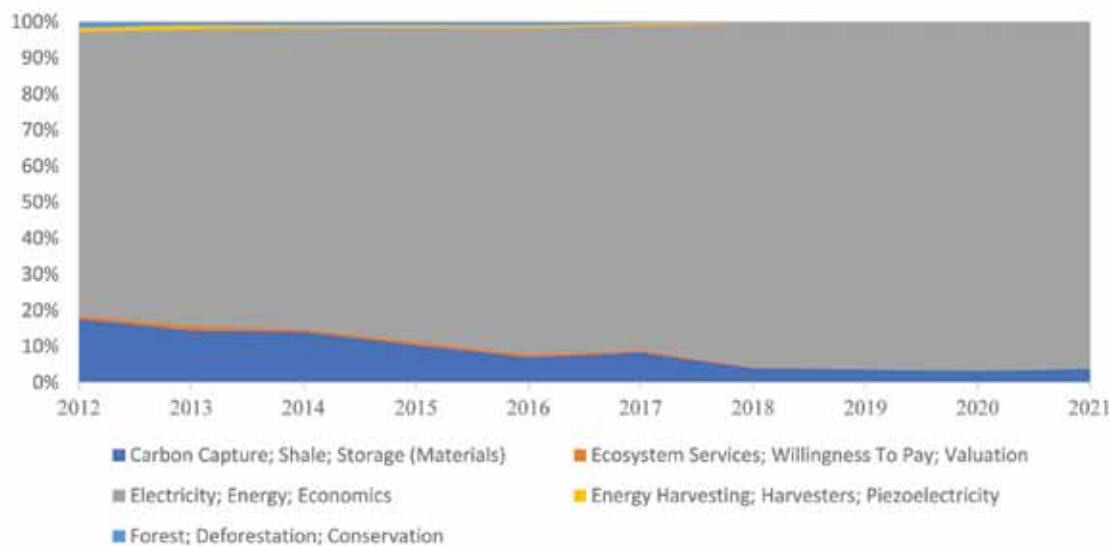


Составлено авторами по данным Scopus. URL: <https://scopus.com> (дата обращения: 01.01.2023)

Рис. 2. Периодизация публикационной активности по проблемам декарбонизации в библиографическом кластере «TC.81 Electricity; Energy; Economics»

Compiled by the authors according to Scopus data. URL: <https://scopus.com> (accessed: 01.01.2023)

Fig. 2 Periodization of publication activity on decarbonization issues in the bibliographic cluster "TC.81 Electricity; Energy; Economics"



Составлено авторами по данным Scopus. URL: <https://scopus.com> (дата обращения: 01.01.2023)

Рис. 3. Объемная динамика числа публикаций в области декарбонизации, входящих в основные библиографические кластеры

Compiled by the authors according to Scopus data. URL: <https://scopus.com> (accessed: 01.01.2023)

Fig. 3. The volume dynamics of the number of publications in the field of decarbonization included in the main bibliographic clusters

Анализ данных российской научной библиотеки eLibrary о публикационной активности в области декарбонизации позволил выявить порядка 779 публикаций с общим количеством цитирований на уровне 815-ти единиц. Как следует из анализа представленной на рис. 4 информации, формаль-

но тематика декарбонизации начала обсуждаться достаточно давно, однако это обсуждение носило на начальном этапе крайне ограниченный характер. Достаточно заметное увеличение числа публикаций в рамках исследуемой предметной области произошло только на рубеже 2020–2022 гг.



Составлено авторами по данным eLibrary. URL: <https://eLibrary.ru> (дата обращения: 01.01.2023)

Рис. 4. Динамика публикационной активности в области декарбонизации российских авторов

Compiled by the authors according to eLibrary. URL: <https://eLibrary.ru> (accessed: 01.01.2023)

Fig. 4. The dynamics of publication activity in the field of decarbonization of Russian authors

Среди национальных событий, которые могли оказать влияние на интерес российского научного сообщества к проблемам углеродной нейтральности, следует назвать, во-первых, принятие в 2014 г. Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, определившей вызовы и приоритеты, связанные, в том числе, с экологически чистой и ресурсосберегающей энергетикой; во-вторых, запуск в 2017 г. президентской программы исследовательских проектов; в-третьих, публикацию в конце 2020 г. Указа Президента Российской Федерации «О сокращении выбросов парниковых газов»¹, а в конце 2021 г. – Распоряжения Правительства Российской Федерации об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.²

Территориальный анализ публикационной активности

Анализ территориального проявления публикационной активности в области проблем декарбонизации и достижения углеродной нейтральности позволил выявить достаточно любопытные закономерности.

Во-первых, 85% всех публикаций по рассматриваемой тематике готовится исследователями из развитых стран. На долю развивающихся стран приходится, соответственно, лишь около 15% публикаций. Это свидетельствует о том, что массовый интерес к проблемам климатических изменений возникает преимущественно в экономиках с высоким уровнем жизни, менталитет граждан которых характеризуется большей социальной от-

¹ Указ Президента РФ от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» // Собрание законодательства РФ. 2020. № 45. Ст. 7095.

² Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 N 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» // Сайт Правительства России. 2021. URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtlpyzWfHaiUa.pdf> (дата обращения: 10.10.2023)

ветственностью и большим стремлением обеспечить качество жизни будущих поколений.

Во-вторых, судя по представленной в табл. 2 информации, 80% всех публикаций по рассматриваемой тематике подготовлено исследователями всего 10-ти стран. Видно, что страны с самым высоким удельным весом публикаций по проблемам декарбонизации и достижения углеродной ней-

тральности чаще всего не демонстрируют аналогично высоких значений числа просмотров и числа цитирований в расчете на одну научную публикацию. В частности, самое большое число цитирований в расчете на одну публикацию оказалось у исследователей из Австрии и Франции, позиционирование которых по показателю удельного веса публикаций гораздо более скромное.

Таблица 2

Топ-10 стран-лидеров в области проблем декарбонизации и достижения углеродной нейтральности за период 2012–2022 гг. (Scopus)

Table 2

Top 10 leading countries in the field of decarbonization and achieving carbon neutrality in the period 2012–2022 (Scopus)

Страна	Удельный вес публикаций страны в общем количестве публикаций, %	Число просмотров на 1 публикацию, ед.	Число цитирований на 1 публикацию, ед.
Великобритания	18	75,9	45,7
США	12	66,8	58,5
Нидерланды	11	89,7	49,6
Франция	10	72,0	61,6
Германия	9	71,3	47,6
Швеция	5	83,7	39,0
Китай	5	41,4	20,4
Австралия	4	73,3	45,9
Австрия	3	87,1	70,7
Япония	3	56,9	39,8

Составлено авторами.

Compiled by the authors.

В-третьих, определенное удивление вызывает недостаточно убедительная позиция в рассматриваемой предметной области Китая, который с 2008 г. занимает первое место в мире по ежегодным выбросам парниковых газов, почти вдвое опережая по этому показателю США³. Согласно представленным в табл. 2 данным, эта страна показывает слабые позиции не только по удельному весу публикаций, но и по двум другим анализируемым нами библиометрическим показателям. Сложившаяся ситуация, возможно, объясняется тем, что государственная политика этой страны закрепляет приоритет прикладных практикоориентированных исследований и технологических разработок по проблемам изменения климата, со всеми вытекающими из этого ограниченными квотами на финансирование концептуальных и теоретических работ в области декарбонизации и достижения углеродной нейтральности.

В-четвертых, научные статьи анализируемого научного профиля, представленные в базе данных Scopus российскими авторами, имеют в среднем 46,5 просмотров и 11,3 цитирований при общем количестве публикаций на уровне 159-ти единиц (23-е место в мире).

Если обратить внимание на организации, с которыми аффилированы авторы научных публикаций по проблемам декарбонизации и достижения углеродной нейтральности, то можно сделать следующие основные выводы. Во-первых, как eLibrary, так и Scopus выделяют три типа организаций, аффилиация с которыми используется при публикации результатов проведенных исследований. Это научно-исследовательские центры и университеты (academic), государственные организации (government), а также частные компании (corporate). Судя по значениям основных показате-

³ Штайнвер У., Кропман В. Насколько ответственен Китай за изменение климата. URL: <https://www.dw.com/ru/naskolko-otvetstvenenkitajza-izmenenija-klimata-faktcheking-dw/a-59269985> (дата обращения: 20.11.2023)

лей публикационной активности в разрезе различных типов организаций (табл. 3), система Scopus фиксирует доминирование научно-исследователь-

ских центров и университетов, как по показателю удельного веса публикаций, так и по показателю числа просмотров в расчете на одну публикацию.

Таблица 3

Основные показатели публикационной активности в разрезе различных типов организаций за период 2012–2022 гг. (Scopus, eLibrary)

Table 3

The main indicators of publication activity in the context of various types of organizations in the period 2012–2022 (Scopus, eLibrary)

Тип организации	Scopus			eLibrary
	Удельный вес публикаций, %	Просмотров на публикацию, ед.	Цитирований на публикацию, ед.	Доля публикаций, %
Научно-исследовательские центры и университеты	71	74,0	44,9	74
Государственные организации	25	72,1	56,8	21
Частные компании	4	43,7	17,0	5

Составлено авторами.

Compiled by the authors.

Однако значения среднего цитирования в расчете на одну публикацию существенно нарушают доминирование данной группы организаций в пользу государственных учреждений. Сложившаяся ситуация может объясняться более низкой заинтересованностью государственных учреждений в объемных наукометрических показателях, которые в случае с университетами являются принципиально важными для их позиционирования в глобальных университетских рейтингах. В этой связи концентрация более содержательных в научном и практическом плане публикаций действительно будет выше у государственных организаций, чем у университетов. Кроме того, следует иметь в виду, что публикации государственных организаций, как правило, более практикоориентированы и, соответственно, более расположены к последующему цитированию.

Во-вторых, судя, по рейтингу организаций-лидеров публикационной активности в области декарбонизации и достижения углеродной нейтральности (табл. 4), разработка данной научной проблемы предопределила достаточно существенную концентрацию и кластеризацию проводимых при этом исследований. Видно, что в системе Scopus на топ-10 организаций приходится 22% всех публикаций в рассматриваемой предметной области, а в системе eLibrary – вообще 31%. Следует отметить, что среди организаций из топ-10 в Scopus все участники представляют исключительно европейские страны, что, в общем-то, несколько противоречит ранее приведенной статистике публикационной активности в области декарбонизации в разрезе различных стран мира, по данным которой из 10-ти лидеров 4 страны (США, Китай, Австралия и

Япония) расположены за пределами европейского континента.

В-третьих, в подтверждение ранее выявленного тренда на приоритетное внимание исследователей к изучению проблем декарбонизации преимущественно с концептуальных экономических и политических позиций, статистика по российским организациям с наиболее высокой публикационной активностью в данной области свидетельствует о нахождении в их числе, прежде всего, организаций гуманитарного профиля. При этом большинство российских организаций, входящих в топ-10 лидеров публикационной активности, относятся к университетскому сообществу – 8 из 10-ти, что ровно в два раза выше значений для аналогичного списка из Scopus.

Анализ публикационной активности по научному уровню изданий

Следует отметить, что относительно высокая концентрация публикаций по проблемам декарбонизации в рамках кластера «TC.81 Electricity; Energy; Economics» вокруг определенных организаций демонстрирует планомерное возникновение крупных центров ответственности за проведение соответствующих исследований. Это, в свою очередь, во многом предопределяет последовательное повышение качества издаваемых по результатам их проведения публикаций. В частности, об этом свидетельствуют данные распределения публикаций из рассматриваемой предметной области по изданиям, относимым системой Scopus к разным квартилям. Согласно представленной на рис. 5 информации, 71% публикаций анализируемой предметной области находится в журналах выс-

Таблица 4

Топ-10 организаций-лидеров публикационной активности в области проблем декарбонизации и достижения углеродной нейтральности за период 2012–2022 гг. (Scopus, eLibrary)

Table 4

Top 10 organizations-leaders of publication activity in the field of decarbonization problems and achieving carbon neutrality in the period 2012–2022 (Scopus, eLibrary)

№	Наименование организации (Scopus)	Кол-во публ.	Удельный вес публикаций, %	Наименование организации (eLibrary)	Кол-во публ.	Удельный вес публикаций, %
1	Utrecht University (Нидерланды)	480	3	Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина	42	5
2	International Institute for Applied Systems Analysis (Люксембург)	415	3	Финансовый университет при Правительстве РФ	34	4
3	Potsdam Institute for Climate Impact Research (Германия)	415	3	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	31	4
4	CNRS (Франция)	313	2	Санкт-Петербургский государственный экономический университет	28	4
5	University of Sussex (Великобритания)	306	2	Московский государственный институт международных отношений (университет)	21	3
6	University College London (Великобритания)	287	2	Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ	19	2
7	University of Oxford (Великобритания)	268	2	Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова Российской академии наук	18	2
8	Swiss Federal Institute of Technology (Швейцария)	255	2	Институт энергетических исследований Российской академии наук	17	2
9	Imperial College (Великобритания)	249	2	Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова	14	2
10	Wageningen University & Research (Нидерланды)	248	2	Национальный исследовательский университет «МЭИ»	14	2
Итого ТОП-10 Scopus		3236	22	Итого ТОП-10 eLibrary	238	31

Составлено авторами.

Compiled by the authors.

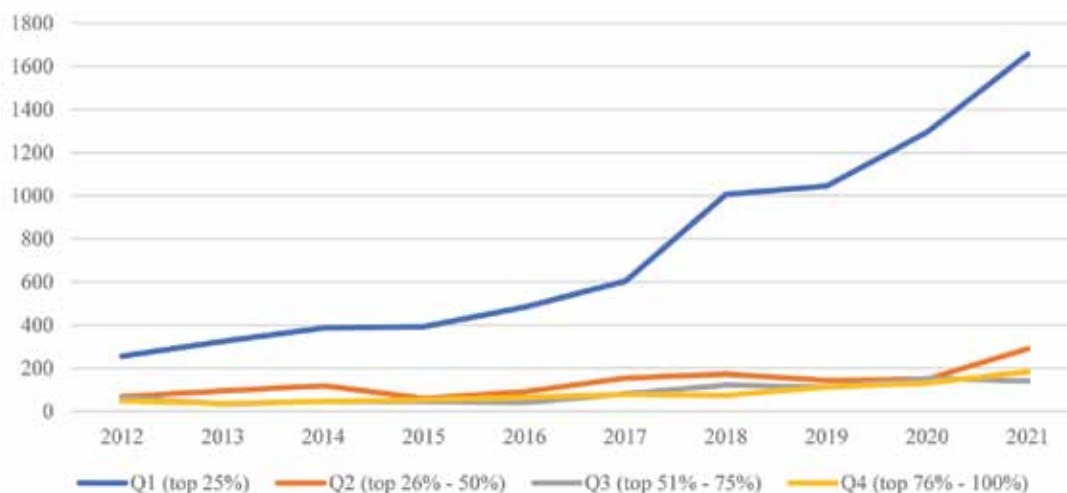
шего I квартilea, доля которых не превышает 25% в общем числе индексируемых системой Scopus изданий. На издания II квартilea приходится 13% публикаций. Публикации в журналах III и IV кварталей занимают всего по 8%.

При этом, судя по динамике соотношения между публикациями в изданиях разных кварталей, ежегодные темпы роста публикаций в журналах I квартilea существенно опережают аналогичную динамику в изданиях других кварталей: за рассматриваемый период времени ее величина составила 26%.

Между тем, если обратиться к данным системы eLibrary и оценить уровень изданий, в которых публикуются результаты российских исследований

по аналогичной тематике, то можно обнаружить прямо противоположную картину. Как следует из представленной в табл. 5 информации, лишь 14% научных трудов российских авторов опубликовано в изданиях, входящих в ядро РИНЦ.

Данное ядро объединяет издания, индексируемые системами Scopus и Web of Science (WOS), а также включает журналы, входящие в специальную коллекцию Russian Science Citation Index (RSCI), которая состоит из наиболее авторитетных российских научных изданий. По сути, в рамках данного исследования издания из ядра РИНЦ могут быть условно соотнесены нами с изданиями первого квартilea системы Scopus. Таким образом, если за



Составлено авторами по данным Scopus. URL: <https://scopus.com> (дата обращения: 01.01.2023)

Рис. 5. Распределение публикаций в области декарбонизации (кластер «TC.81 Electricity; Energy; Economics») по квартилям научных изданий, индексируемых системой Scopus

Compiled by the authors according to Scopus data. URL: <https://scopus.com> (accessed: 01.01.2023)

Fig. 5. Distribution of publications in the field of decarbonization (cluster "TC.81 Electricity; Energy; Economics") by quartiles of scientific publications indexed by the Scopus system

Таблица 5

Распределение публикаций в области декарбонизации российских авторов по видам изданий, индексируемых системой eLibrary за период 2012–2022 гг.

Table 5

Distribution of publications in the field of decarbonization of Russian authors by types of publications indexed by the eLibrary system in the period 2012–2022

Тип издания	Доля публикаций данного типа изданий в общем числе публикаций, %
РИНЦ	48
Журналы, рекомендованные ВАК при Минобрнауки РФ	38
Ядро РИНЦ	14
Web of Science (WOS) и Scopus	3
Russian Science Citation Index (RSCI)	12

Составлено авторами.

Compiled by the authors.

рубежом проблемы декарбонизации и достижения углеродной нейтральности являются либо центром гравитации наиболее сильных исследователей и научных коллективов, либо своего рода инкубатором, формирующим исследователей и коллективы такого уровня, то в России данная тематика сопоставимым позиционированием пока еще не характеризуется. Объяснением сложившейся ситуации, возможно, является пока еще относительно недавнее закрепление декарбонизации в приоритетах национального развития и, соответственно, в повестке государственного заказа.

Семантический анализ публикационной активности

Развивая исследование особенностей проявления публикационной активности в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтральности, обратимся к анализу облака ключевых слов, характеризующих соответствующие публикации. Руководствуясь ранее предложенной методикой, данный анализ выполним сначала для публикаций, индексируемых системой Scopus, а затем для публикаций, учитываемых системой eLibrary. Логика проводимых при этом аналитических процедур пред-

усматривает, во-первых, импорт ключевых слов из соответствующих баз данных и их последующую группировку, во-вторых, ранжирование сгруппированных ключевых слов в зависимости от частоты использования в научных публикациях и, в-третьих, расчет средневзвешенных значений их релевантности по отношению к проблемам декарбонизации и достижения углеродной нейтральности.

Следует отметить, что группа ключевых слов, раскрывающих проблемы изменения климата под воздействием парниковых газов, используется в 60% публикаций анализируемой предметной области.

В силу этого данная группа ключевых слов на протяжении всего исследуемого периода времени занимает основную позицию в соответствующем ранжированном списке, усложняя содержательное восприятие позиций других групп ключевых слов. В этой связи для данного этапа исследования она была выведена за рамки проводимых аналитических процедур.

Итак, в табл. 6 представлено 10 групп ключевых слов, которые чаще всего используются в публикациях по анализируемой тематике в изданиях, индексируемых системой Scopus.

Таблица 6

Частота использования ключевых слов в публикациях базы данных Scopus по проблемам декарбонизации за период 2012–2022 гг.

Table 6

Frequency of keyword usage in Scopus database publications on decarbonization issues in the period 2012–2022

Наименование группы ключевых слов	Доля публикаций, связанных с группой ключевых слов в общем числе публикаций в области декарбонизации, %
Energy Transition (Энергетический переход)	35
Environmental Policy and Management (Регулирование в области экологической политики)	34
Energy Systems and Resources (Энергетические системы и ресурсы)	33
Sustainability Development and Transition (Устойчивое развитие и переход)	32
Climate Models and Scenario Analysis (климатические модели и сценарный анализ)	31
Carbon Capture and Storage Technologies (Технологии улавливания и хранения углерода)	19
Climate Change Mitigation (Митигация климатических изменений)	15
Renewable Energy (Возобновляемые источники энергии)	15
Paris Agreement (Парижское соглашение)	13
Fossil Fuel (Ископаемое топливо)	9

Составлено авторами.

Compiled by the authors.

Судя по представленным в табл. 6 данным, сразу 5 групп ключевых слов верхнего уровня характеризуются соизмеримыми значениями частоты использования в публикациях по проблемам декарбонизации (31–35%). Последовательность частоты использования данных ключевых слов четко коррелирует с их концептуальной широтой: наиболее популярное ключевое слово, «Energy transition», является и самым общим, отражая лейтмотив изменений в глобальной климатической повестке. Все последующие ключевые слова из анализируемой выборки являются более конкретными и содержательно более узкими. По этой причине замыкающими среди рассматриваемых ключевых слов оказались «Paris Agreement» и «Fossil Fuel», как характеристики либо частных событийных

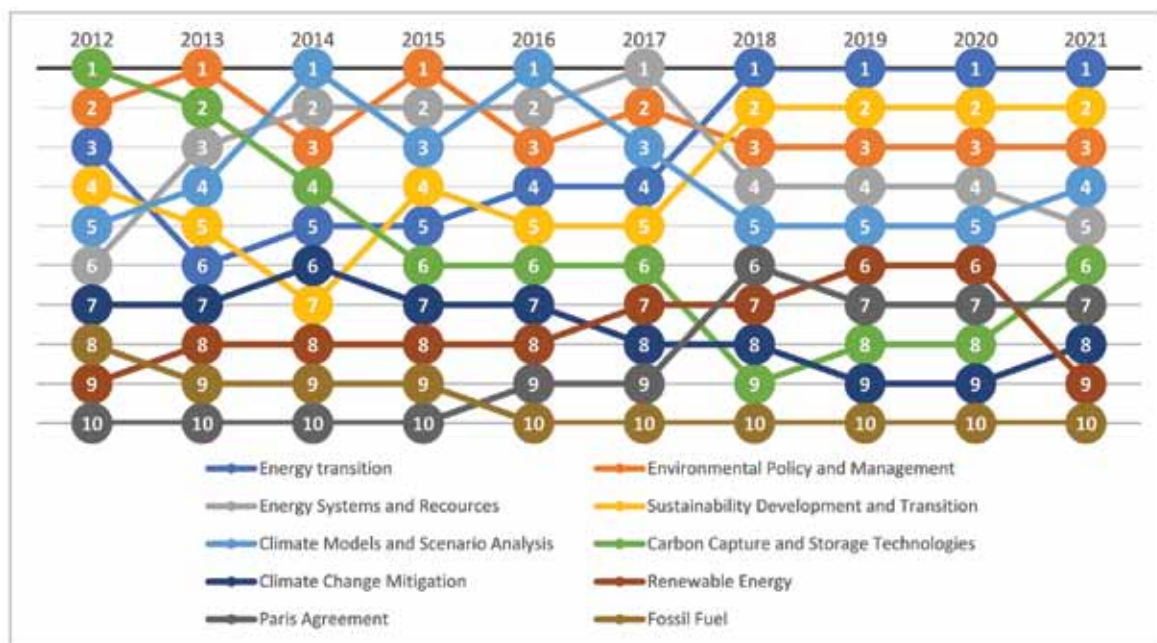
трендов, либо трендов, связанных с уходящим технологическим укладом.

Все это может свидетельствовать о том, что, с одной стороны, большинство научных разработок в сфере декарбонизации не ограничено какой-либо узкой предметной специализацией, охватывая в своей постановке различные аспекты перехода к безуглеродной экономике. С другой стороны, явным образом просматривается преобладание управленческого контекста в содержании исследуемых публикаций над контекстом технического и технологического профиля.

В целях выявления сложившихся тематических трендов публикационной активности в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтраль-

ности был выполнен анализ частоты использования ключевых слов массива публикаций, изданных по рассматриваемой тематике за период 2012–

2021 гг. Результаты выполнения данного анализа, представленные на рис. 6, позволяют сделать следующие основные выводы.



Составлено авторами по данным Scopus. URL: <https://scopus.com> (дата обращения: 01.01.2023)

Рис. 6. Динамика частоты использования ключевых слов в публикациях системы Scopus по теме «декарбонизация» за период 2012–2021 гг.

Compiled by the authors according to Scopus data. URL: <https://scopus.com> (accessed: 01.01.2023)

Fig. 6. The dynamics of the frequency of the use of keywords in the publications of the Scopus system on the topic "decarbonization" in the period 2012–2021

Во-первых, больше всего увеличилась интенсивность использования ключевых слов «Energy Transition» – за период 2013–2018 гг. рост сразу на 6 позиций, а также ключевых слов «Sustainability Development and Transition» – рост на аналогичное число позиций примерно за тот же период, 2014–2018 гг. Во-вторых, заметно снизилась частота использования ключевых слов, связанных с климатическими моделями, сценарным моделированием, улавливанием и хранением углерода, использованием ископаемого топлива, а также митигацией (сокращением выбросов парниковых газов и извлечением парниковых газов из атмосферы с целью снижения темпов изменения климата). В-третьих, неустойчивую динамику с трендом на понижение демонстрируют ключевые слова, раскрывающие содержание политических и управленческих аспектов защиты окружающей среды.

Аналогичный исследовательский подход был реализован в отношении ключевых слов, использованных в публикациях по проблемам декарбонизации,

которые индексируются российской научной библиотекой eLibrary. Для этого массив наиболее используемых ключевых слов был объединен в общие группы, наименование и доля которых представлены в табл. 7.

Их данных табл. 7 следует, что наибольший интерес у российских исследователей вызывает тематика климатических изменений, декарбонизации экономики, а также использования возобновляемых источников энергии и водородного топлива.

На завершающем этапе выполнения исследования были определены предметные области, в контуре которых чаще всего публикуются результаты научных разработок по проблемам декарбонизации. При этом было учтено, что базой данных Scopus одна и та же публикация может быть отнесена сразу к нескольким предметным областям, в то время как в eLibrary – только к одной.

Среди публикаций Scopus было выделено 20 предметных областей, среди которых декарбонизация

Таблица 7

Частота использования ключевых слов в публикациях российской научной библиотеки eLibrary по проблемам декарбонизации за период 2012–2022 гг.

Table 7

Frequency of use of keywords in publications of the Russian scientific library eLibrary on decarbonization problems in the period 2012–2022

Наименование группы ключевых слов	Доля публикаций, связанных с группой ключевых слов в общем числе публикаций в области декарбонизации, %
Изменение климата / Климатическая нейтральность	33
Декарбонизация экономики	27
Возобновляемые источники энергии	23
Водородное топливо	21
Энергетический переход	20
Устойчивое развитие	18
Энергоэффективность	9
Парижское соглашение	9
Климатическая политика	8
Углеродный налог	6

Составлено авторами.

Compiled by the authors.

чаще всего оказывается вписанной в контекст предметной области «Environmental Science» (75%). В ее структуре наибольший интерес у исследователей вызывает подобласть «Management, Monitoring, Policy And Law», второй по популярности подобластью является «Energy» (57%), третьей – «Social sciences» (44%).

В российской научной библиотеке eLibrary больше всего публикаций по проблемам декарбонизации сосредоточено в предметной области «Экономика. Экономические науки» (52%). Следующей по популярности является область «Энергетика» (15%). Оставшиеся предметные области имеют незначительную долю – их удельный вес менее 3%.

Выводы

1. Возникновение в исследовательском пространстве феномена декарбонизации предопределено конвергенцией проблем экономики, экологии и энергетики, которые в последнее десятилетие все чаще стали восприниматься обществом в едином содержательном контексте, вышедшем в своих пространственных границах на глобальный уровень. Именно этим объясняется библиографическая кластеризация научных исследований по проблемам декарбонизации не столько вокруг соответствующих технических и технологических решений, сколько в концептуально более широких координатах.

2. Период 2012–2022 гг. сопровождался постоянно возрастающей динамикой публикационной активности в области декарбонизации, темпы увеличения которой в последние годы этого периода вообще характеризовались кратными значениями роста. Такое интенсивное внимание исследовательского сообщества к изучению данной проблемы во многом стало следствием целенаправленных усилий со стороны органов государственного управления. Действуя как через закрепление приоритетов энергетического перехода в национальной промышленной, структурной и конкурентной политике, так и через государственный заказ на научные исследования проблем углеродной нейтральности, многие страны мира сумели инициировать активную научную дискуссию по наиболее важным для их экономик аспектам декарбонизации. Для глобального сообщества такими аспектами стали возобновляемая энергетика, обеспечение устойчивого развития, а также переход к экономике замкнутого цикла. Для России – это альтернативная, прежде всего, водородная энергетика и использование сжиженного природного газа.

3. Мировое научное сообщество все чаще демонстрирует проактивную по отношению к государственной повестке приоритетов декарбонизации, формируя и продвигая в обществе новые научные фронтиры, многие из которых получают в дальнейшем достаточно широкое и результативное общественное обсуждение. В период 2019–2022

гг. в числе таких фронтиров оказались проблемы сокращения биоразнообразия (прирост использования ключевых слов на 1544%), проблемы негативного влияния окружающей среды на здоровье человека (прирост на 1185%), проблемы циркулярной экономики (прирост 211%) и некоторые другие важные научные направления.

4. Сравнительный анализ данных о публикационной активности в области декарбонизации показал меньшую зрелость российского научного сообщества, которое, в отличие от глобального, пока еще демонстрирует как более слабую количественную динамику роста числа соответствующих публикаций, так и недостаточную ориентацию авторов на работу с высокорейтинговыми научными изданиями. С содержательной точки зрения определенная дифференциация между публикациями российского и глобального научных сообществ прослеживается в силу большего внимания исследований из базы данных Scopus к системным технологическим изменениям, к политическим и юридическим аспектам достижения углеродной нейтральности, а также к сценарному моделированию климатических изменений. Публикации, индексируемые eLibrary, характеризуются более разнообразным и даже где-то размытым спектром исследовательских интересов, определенная концентрация которых наблюдается преимущественно в контексте исследований экономического и климатического профиля.

5. Систематизация исследований в области декарбонизации, которые стремительно развиваются как с точки зрения объемных показателей, так и с точки зрения усиления их междисциплинарности и общественной значимости, является важнейшим условием эффективной научной ориентации и исследовательской маршрутизации в крайне фрагментированном и противоречивом пространстве разработок по проблемам глобального энергетического перехода.

6. В контексте представленного исследования ландшафт научных публикаций по проблемам декарбонизации и достижения углеродной нейтральности раскрывает основные направления развития научных исследований в глобальном и российском научных сообществах. Руководствуясь сложившимися глобальными научными трендами, большее внимание российским ученым следует уделить исследованию научных аспектов модернизации энергетической инфраструктуры, а также анализу социально-экономических последствий энергетического перехода, учитывающего особенности национальной экономики. Государственная поддержка должна концентрироваться на научных инициативах, поддерживающих переход к низкоуглеродной экономике, разработке энергоэффективных и экологически чистых технологий и укреплению международного научного и научно-технического сотрудничества в интересах решения проблем декарбонизации.

Список источников

1. Bernstein S., Hofman M. The Politics of decarbonization: A framework and method. SSRN, 2015. 52 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2619322>
2. Ahman M., Nilson L.J., Johansson B. Global climate policy and deep decarbonization of energy-intensive industries // Climate Policy. 2017. Vol. 17. Iss. 5. P. 634–649. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1167009>
3. Dernback J.C., Gerrard M.B. Federal Legislative and Administrative Framework // In: Sachs J. America's Zero Action Carbon Plan, Sustainable Development Solutions Network. New York, 2020. P. 105–121. URL: https://scholarship.law.columbia.edu/faculty_scholarship/2758 (дата обращения: 10.10.2023)
4. Szulecki K. European energy governance and decarbonization policy: learning from the 2020 strategy // Climate Policy. 2016. Vol. 16. Iss. 5. P. 543–547. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1181599>
5. Gheuens J. Putting on the brakes: the shortsightedness of EU car decarbonization policies // Climate Action. 2023. Vol. 2. P. 3. <https://doi.org/10.1038/s44168-023-00038-5>
6. Tikka K., Esau S. Securing Global Alignment in Regulations Related to Decarbonization // In: Maritime Decarbonization / Lind M., Lehmacher W., Ward R. (eds). Springer, Cham: 2023. P. 189–200. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39936-7_15
7. Dong J., Zeng J., Yang Y., Wang H. A review of law and policy on decarbonization of shipping // Frontiers in Marine Science. 2022. Vol. 9. P. 1076352. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1076352>
8. Cavangh R. Energy efficiency and decarbonization: Priorities for regulated utilities // The Electricity Journal. 2021. Vol. 34. Iss. 2. P. 106908. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2020.106908>
9. Beccarello M., Di Foggia G. Review and perspectives of key decarbonization drivers to 2030 // Energies. 2023. Vol. 16. Iss. 3. P. 1345. <https://doi.org/10.3390/en16031345>

10. Li K., Tan X., Yan Y., Jiang D., Qi S. Directing energy transition toward decarbonization: The China story // *Energy*. 2022. Vol. 261. Part A. P. 124934. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124934>
11. Sovacool B.K., Geels F.W., Iskandarova M. Industrial clusters for deep decarbonization // *Science*. Vol. 378. Iss. 6620. P. 601–604. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.add0402>
12. Gerbaulet C., von Hirschhausen C., Kemfer C., Lorenz C., Oei P.-Y. European electricity sector decarbonization under different levels of foresight // *Renewable energy*. 2019. Vol. 141. P. 983–987. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.099>
13. Hamid I., Alam M.S., Kanwal A., Jena P.K., Murshed M., Alam R. Decarbonization pathways: the roles of foreign direct investments, governance, democracy, economic growth, and renewable energy transition // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. P. 49816–49831. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18935-3>
14. Hamid I., Alam M.S., Murshed M., Jena P.K., Sha N., Alam M.N. The roles of foreign direct investments, economic growth, and capital investments in decarbonizing the economy of Oman // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. P. 22122–22138. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17246-3>
15. Echeverri L.G. Investing for rapid decarbonization in cities // *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2018. Vol. 30. P. 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.010>
16. Bataille C., Waisman H., Colombier M., Segafredo L., Williams J., Jotzo F. The need for national deep decarbonization pathways for effective climate policy // *Climate Policy*. 2016. Vol. 16. Iss. 1. P. S7–S26. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1173005>
17. Vogele S., Josyabhatla V.T., Ball C., Rhoden I., Grajewski M., Rübhelke D., Kuckshinrichs W. Robust assessment of energy scenarios from stakeholders' perspectives // *Energy*. Vol. 282. P. 128326. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128326>
18. Rosenbloom D., Rinscheid A. Deliberate decline: An emerging frontier for the study and practice of decarbonization // *WIREs Climate Change*. 2020. Vol. 11. Iss. 6. P. e669. <https://doi.org/10.1002/wcc.669>
19. Wimbadi R.W., Djalante R. From decarbonization to low carbon development and transition: A systematic literature review of the conceptualization of moving toward net-zero carbon dioxide emission (1995–2019) // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 256. P. 120307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120307>
20. Papadis E., Tsatsaronis G. Challenges in the decarbonization of the energy sector // *Energy*. 2020. Vol. 205. P. 118025. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118025>
21. Plazas-Niño F.A., Ortiz-Pimiento N.R., Montes-Páez E.G. National energy system optimization modelling for decarbonization pathways analysis: A systematic literature review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 162. P. 112406. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112406>
22. Mallouppas G., Yfantis E.A. Decarbonization in shipping Industry: A review of research, technology development, and innovation proposals // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. Vol. 9. Iss. 4. P. 415. <https://doi.org/10.3390/jmse9040415>
23. Zier M., Stenzel P., Kotzur L., Stolten D. A review of decarbonization options for the glass industry // *Energy Conversion and Management*. 2021. Vol. 10. P. 100083. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100083>
24. Lipu H., Ansari S., Miah S., Hasan K., Meraj S.T., Faisal M., Jamal T., Ali S.H.M., Hussain A., Muttaqi K.M., Hannan M.A. A review of controllers and optimizations based scheduling operation for battery energy storage system towards decarbonization in microgrid: Challenges and future directions // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 360. P. 132188. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132188>
25. Stampatori D., Raimondi P., Noussan M. Li-Ion batteries: A review of a key technology for transport decarbonization // *Energies*. 2020. Vol. 13. Iss. 10. P. 2638. <https://doi.org/10.3390/en13102638>
26. Jiang L., Xue D., Wei Z., Chen Z., Mirzayev M., Chen Y., Chen S. Coal decarbonization: A state-of-the-art review of enhanced hydrogen production in underground coal gasification // *Energy Reviews*. 2022. Vol. 1. Iss. 1. P. 100004. <https://doi.org/10.1016/j.enrev.2022.100004>
27. Maehara Y., Kuku A., Osabe Y. Macro analysis of decarbonization-related patent technologies by patent domain-specific BERT // *World Patent Information*. 2022. Vol. 69. P. 102112. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2022.102112>
28. Hayashi D. Harnessing innovation policy for industrial decarbonization: Capabilities and manufacturing in the wind and solar power sectors of China and India // *Energy Research & Social Science*. 2020. Vol. 70. P. 101644. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101644>
29. Yang D., Lee J., Song N.C., Lee S., Kim S., Lee S., Choi S. Patent analysis on green hydrogen technology for future promising technologies // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 48. Iss. 83. P. 32241–32260. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.317>
30. Das N., Hossain E., Bera P., Gangopadhyay P., Cifuentes-Faura J., Aneja R., Kamal M. Decarbonization through sustainable energy technologies: Asymmetric evidence from 20 most innovative nations across the globe // *Energy & Environment*. 2023. <https://doi.org/10.1177/0958305X231183921>

Об авторах:

Садриев Азат Рафаилович, доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой инноваций и инвестиций; SPIN-код: 6413-7167, Researcher ID: P-7141-2015, Scopus ID: 55967227900

Васильев Руслан Александрович, ассистент кафедры инноваций и инвестиций; SPIN-код: 9648-6980

Вклад авторов:

Садриев А. Р. – научное руководство; разработка концепции и методики проведения исследования; выполнение расчетных процедур; количественная и качественная интерпретация аналитических данных; выявление сложившихся закономерностей развития ландшафта научных публикаций.

Васильев Р. А. – проведение критического анализа публикаций по проблемам декарбонизации; сбор и обработка количественных данных о научных публикациях; обоснование выводов по выполненному исследованию.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- Bernstein S., Hofman M. The Politics of decarbonization: A framework and method. SSRN, 2015. 52 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2619322> (In Eng.)
- Ahman M., Nilson J.L., Johansson B. Global climate policy and deep decarbonization of energy-intensive industries. *Climate Policy*. 2017; 17(5):634–649. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1167009> (In Eng.)
- Dernback J.C., Gerrard M.B. Federal Legislative and Administrative Framework. In: Sachs J. America's Zero Action Carbon Plan, Sustainable Development Solutions Network. New York, 2020. P. 105–121. URL: https://scholarship.law.columbia.edu/faculty_scholarship/2758 (accessed: 10.10.2023) (In Eng.)
- Szulecki K. European energy governance and decarbonization policy: learning from the 2020 strategy. *Climate Policy*. 2016; 16(5):543–547. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1181599> (In Eng.)
- Gheuens J. Putting on the brakes: the shortsightedness of EU car decarbonization policies. *Climate Action*. 2023; 2:3. <https://doi.org/10.1038/s44168-023-00038-5> (In Eng.)
- Tikka K. Esau S. Securing Global Alignment in Regulations Related to Decarbonization. In: *Maritime Decarbonization*. Eds. Lind M., Lehmacher W., Ward R. Springer, Cham: 2023 P. 189–200. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39936-7_15 (In Eng.)
- Dong J., Zeng J., Yang Y., Wang H. A review of law and policy on decarbonization of shipping. *Frontiers in Marine Science*. 2022; 9:1076352. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1076352> (In Eng.)
- Cavangh R. Energy efficiency and decarbonization: Priorities for regulated utilities. *The Electricity Journal*. 2021; 34(2):106908. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2020.106908> (In Eng.)
- Beccarello M., Di Foggia G. Review and perspectives of key decarbonization drivers to 2030. *Energies*. 2023; 16(3):1345. <https://doi.org/10.3390/en16031345> (In Eng.)
- Li K., Tan X., Yan Y., Jiang D., Qi S. Directing energy transition toward decarbonization: The China story. *Energy*. 2022; 261(A):124934. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124934> (In Eng.)
- Sovacool B.K., Geels F.W., Iskandarova M. Industrial clusters for deep decarbonization. *Science*. 2022; 378(6620):601–604. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.add0402> (In Eng.)
- Gerbaulet C., von Hirschhausen C., Kemfer C., Lorenz C., Oei P.-Y. European electricity sector decarbonization under different levels of foresight. *Renewable energy*. 2019; 141:983–987. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.099> (In Eng.)
- Hamid I., Alam M.S., Kanwal A., Jena P.K., Murshed M., Alam R. Decarbonization pathways: the roles of foreign direct investments, governance, democracy, economic growth, and renewable energy transition. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29:49816–49831. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18935-3> (In Eng.)
- Hamid I., Alam M.S., Murshed M., Jena P.K., Sha N., Alam M.N. The roles of foreign direct investments, economic growth, and capital investments in decarbonizing the economy of Oman. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29:22122–22138. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17246-3> (In Eng.)
- Echeverri L. Investing for rapid decarbonization in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2018; 30:42–51. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.010> (In Eng.)
- Bataille C., Waisman H., Colombier M., Segafredo L., Williams J., Jotzo F. The need for national deep decarbonization pathways for effective climate policy. *Climate Policy*. 2016; 16(1):S7–S26. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1173005> (In Eng.)

17. Vogele S., Josyabhatla V.T., Ball C., Rhoden I., Grajewski M., Rübhelke D., Kuckshinrichs W. Robust assessment of energy scenarios from stakeholders' perspectives. *Energy*. 2023; 282:128326. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128326> (In Eng.)
18. Rosenbloom D., Rinscheid A. Deliberate decline: An emerging frontier for the study and practice of decarbonization. *WIREs Climate Change*. 2020; 11(6):e669. <https://doi.org/10.1002/wcc.669> (In Eng.)
19. Wimbadi R.W., Djalante R. From decarbonization to low carbon development and transition: A systematic literature review of the conceptualization of moving toward net-zero carbon dioxide emission (1995–2019). *Journal of Cleaner Production*. 2020; 256:120307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120307> (In Eng.)
20. Papadis E., Tsatsaronis G. Challenges in the decarbonization of the energy sector. *Energy*. 2020; 205:118025. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118025> (In Eng.)
21. Plazas-Niño F.A., Ortiz-Pimiento N.R., Montes-Páez E.G. National energy system optimization modelling for decarbonization pathways analysis: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022; 162:112406. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112406> (In Eng.)
22. Mallouppas G., Yfantis E.A. Decarbonization in shipping industry: A review of research, technology development, and innovation proposals. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021; 9(4):415. <https://doi.org/10.3390/jmse9040415> (In Eng.)
23. Zier M., Stenzel P., Kotzur L., Stolten D. A review of decarbonization options for the glass industry. *Energy Conversion and Management: X*. 2021; 10:100083. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100083> (In Eng.)
24. Lipu H., Ansari S., Miah S., Hasan K., Meraj S.T., Faisal M., Jamal T., Ali S.H.M., Hussain A., Muttaqi K., Hannan M.A. A review of controllers and optimizations based scheduling operation for battery energy storage system towards decarbonization in microgrid: Challenges and future directions. *Journal of Cleaner Production*. 2022; 360:132188. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132188> (In Eng.)
25. Stampatori D., Raimondi P., Noussan M. Li-Ion batteries: A review of a key technology for transport decarbonization. *Energies*. 2020; 13(10):2638. <https://doi.org/10.3390/en13102638> (In Eng.)
26. Jiang L., Xue D., Wei Z., Chen Z., Mirzayev M., Chen Y., Chen S. Coal decarbonization: A state-of-the-art review of enhanced hydrogen production in underground coal gasification. *Energy Reviews*. 2022; 1(1):100004. <https://doi.org/10.1016/j.enrev.2022.100004> (In Eng.)
27. Maehara Y., Kuku A., Osabe Y. Macro analysis of decarbonization-related patent technologies by patent domain-specific BERT. *World Patent Information*. 2022; 69:102112. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2022.102112> (In Eng.)
28. Hayashi D. Harnessing innovation policy for industrial decarbonization: Capabilities and manufacturing in the wind and solar power sectors of China and India. *Energy Research & Social Science*. 2020; 70:101644. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101644> (In Eng.)
29. Yang D., Lee J., Song N.C., Lee S., Kim S., Lee S., Choi S., Patent analysis on green hydrogen technology for future promising technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023; 48(83):32241–32260. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.317> (In Eng.)
30. Das N., Hossain E., Bera P., Gangopadhyay P., Cifuentes-Faura J., Aneja R., Kamal M. Decarbonization through sustainable energy technologies: Asymmetric evidence from 20 most innovative nations across the globe. *Energy & Environment*. 2023. <https://doi.org/10.1177/0958305X231183921> (In Eng.)

The article was submitted 26.11.2023; approved after reviewing 09.04.2024; accepted for publication 18.04.2024

About the authors:

Azat R. Sadriev, Doctor of Economic Sciences, Associated professor, Head of the Department of Innovation and Investment; SPIN: 6413-7167, Researcher ID: P-7141-2015, Scopus ID: 55967227900

Ruslan A. Vasilev, Assistant of the Department of Innovation and Investment; SPIN: 9648-6980

Contribution of the authors:

Sadriev A. R. – scientific guidance; development of the concept and methodology for conducting research; execution of settlement procedures; quantitative and qualitative interpretation of analytical data; identification of established patterns of development of the landscape of scientific publications.

Vasilev R. A. – conducting the critical analysis of publications on decarbonization issues; collection and processing of quantitative data on scientific publications; substantiation of conclusions based on the research performed.

All authors have read and approved the final manuscript.