

Научная статья

УДК 330.342.3/4

JEL: Q50, Q57, O34

<https://doi.org/10.18184/2079-4665.2022.13.4.556-574>

## Патентная активность в сфере технологий декарбонизации

Азат Рафаилович Садриев<sup>1</sup>, Михаил Сергеевич Кузьмин<sup>2</sup><sup>1-2</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия<sup>1</sup> a-sadriev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3336-4217><sup>2</sup> m-kuzmin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5409-5007>

### Аннотация

**Целью** статьи является выявление глобальных трендов изобретательской активности в сфере декарбонизации и определение степени их соответствия закономерностям патентной активности в российской экономике.

**Методы.** Используются патентные данные за период 2010–2022 гг., агрегируемые поисковыми системами Роспатента, ВОИС, а также «Google Patents», «Espacenet» и «Questel Orbit». Детализация пространства глобальной изобретательской активности в сфере декарбонизации проведена для класса Y02, подкласса Y04S и группы B09 Совместной патентной классификации. Исследование аналогичных закономерностей патентования в российской экономике выполнено с использованием кодов Экологического реестра Международной патентной классификации. Относительные технологические преимущества России в разработке технологий достижения углеродной нейтральности проанализированы на основе данных индекса RTA (Revealed Technology Advantage).

**Результаты работы.** Установлено, что высокая динамика глобальной изобретательской активности в сфере декарбонизации еще не привела к возникновению кратного разрыва между патентами и патентными семействами, что свидетельствует о нахождении основной части технологических разработок в исследуемой области на относительно ранних фазах рыночной зрелости. Определено, что позиции ведущих разработчиков соответствующих технологических решений переходят от японских к китайским и южнокорейским компаниям, которые развивают такие фронтальные направления, как аккумулярование энергии и ее производство с помощью альтернативных источников. Показано, что российские правообладатели демонстрируют относительно более высокую специализацию на разработках для атомной энергетики и рельсовых транспортных систем. Области декарбонизации, представленные отечественными разработками в сфере производства альтернативной энергии, характеризуются менее высокими значениями индекса RTA.

**Выводы.** Построение пространства изобретательской активности в сфере технологий декарбонизации позволяет выявлять сеть как явных, так и неочевидных взаимосвязей данных технологий с разработками других технологических областей. Такой подход открывает возможности проектирования междисциплинарных кооперационных цепочек между создателями опосредованно соотносимых технологических разработок и производителями конечной продукции.

**Ключевые слова:** декарбонизация, патент, патентное семейство, патентный ландшафт, выявленное технологическое преимущество

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

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Садриев А. Р., Кузьмин М. С. Патентная активность в сфере технологий декарбонизации // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2022. Т. 13. № 4. С. 556–574

EDN: <https://elibrary.ru/EGEFMA>. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2022.13.4.556-574>

© Садриев А. Р., Кузьмин М. С., 2022



## Patent activity in the field of decarbonization technologies

Azat R. Sadriev<sup>1</sup>, Mikhail S. Kuzmin<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>Kazan (Volga region) Federal University (KFU), Kazan, Russia

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

<sup>2</sup>m-kuzmin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5409-5007>

### Abstract

**Purpose:** the aim of the research is to explore the global trends in the development of the inventive space in the field of decarbonization and to identify the degree of their compliance with the patterns of patent activity in the Russian economy.

**Methods:** patent data for the period 2010–2022, aggregated by the search engines of Rospatent, the World Intellectual Property Organization, Google Patents, Espacenet and Questel Orbit, were used to conduct the research. The analysis of global inventive activity in the field of decarbonization was provided for Class Y02, subclass Y04S and group B09 of the Cooperative Patent Classification (CPC). The analysis of patenting pattern in the Russian economy was performed in accordance with the codes of the IPC Green Inventory. The relative technological advantages of Russia in the development of technologies to achieve carbon neutrality are analyzed on the basis of data from the RTA (Revealed Technology Advantage) index.

**Results:** it was established that the high dynamics of global inventive activity in the field of decarbonization has not yet led to a multiple gap between patents and patent families, which indicates that a large volume of technological developments in the field of carbon neutrality are at relatively early stages of market maturity. It was determined that the leading positions of developers of relevant technological solutions are shifting from Japanese to Chinese and South Korean companies that are actively developing such advanced technological directions as energy storage and its production using alternative sources. Russian copyright holders demonstrate a relatively higher specialization in developments for nuclear power and railway transport systems, unlike foreign representatives. The decarbonization areas represented by domestic developments in the field of alternative energy production are characterized by significantly lower values of RTA index.

**Conclusions and Relevance:** the space of inventive activity in the field of decarbonisation technologies forms the ability to identify and analyse a network of both explicit and non-obvious interrelations of these technologies with developments from other technological fields. This approach determines the possibility of purposeful design interdisciplinary cooperation chains between developers of indirectly correlated technological developments and manufacturers of the end products.

**Keywords:** decarbonization, patent, patent family, patent landscape, revealed technological advantage

**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 declares no Conflict of Interest.

**For citation:** Sadriev A. R., Kuzmin M. S. Patent activity in the field of decarbonization technologies. *MIR (Modernizatsiia. Innovatsii. Razvitie) = MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2022; 13(4):556–574. (In Russ.)

EDN: <https://elibrary.ru/EGEFMA>. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2022.13.4.556-574>

© Sadriev A. R., Kuzmin M. S., 2022

### Введение

На борьбу со стремительным изменением климата направлены усилия практически всех развитых и большинства развивающихся стран мира. Выйдя за рамки краткосрочных конъюнктурных трендов, эта проблема не просто определила повестку долгосрочного международного сотрудничества, но и стала одной из центральных тем глобального цивилизационного диалога. Переломным для этой темы стал 2015 г., когда на смену принятого в 1997 г. и действовавшего с 2005 г. Киотского протокола пришло Парижское соглашение, подписанное в рамках конвенции ООН об изменении климата<sup>1</sup>. Это зна-

ковое событие окончательно закрепило необходимость перехода от постановочного обсуждения проблем изменения климата к реализации конкретных практических мер по их решению, за которыми стоят детализированные дорожные карты, масштабные финансовые ресурсы и, конечно же, согласованная политическая воля руководства большинства стран мира, адекватно воспринимаемая и поддерживаемая их гражданами и субъектами бизнеса.

По этой причине особый научный интерес начинает представлять исследование качественных и количественных закономерностей в решении проблемы климатических изменений, включая ее

<sup>1</sup>The Paris Agreement. URL: <https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement> (дата обращения: 04.04.2022).

системообразующую часть – декарбонизацию экономики. Именно поэтому данная статья направлена на выявление направлений и динамики научно-технического прогресса в пространстве технологий достижения углеродной нейтральности. Исследование этого прогресса с использованием функционала патентного анализа позволяет целенаправленно управлять формированием полномасштабной технологической платформы декарбонизации.

### Обзор литературы и исследований

Междисциплинарный характер проблемы достижения углеродной нейтральности, усиленный дифференцированным, а иногда даже диаметрально противоположным отношением к поиску путей ее решения в разных экологических, политических, экономических, социальных, технологических и правовых условиях развития, предопределил тематическое разнообразие проводимых при этом научных исследований. Одной из самых ранних и при этом наиболее крупных стала группа исследований, раскрывающих декарбонизацию с ее наиболее очевидной позиции – экологической. Качественный и количественный рост данной группы исследований во многом состоялся благодаря возникновению и распространению феномена глобального устойчивого развития, в котором экономические и социальные преобразования напрямую увязываются с обеспеченностью природными ресурсами и инвестициями, динамикой и направленностью научно-технического прогресса, а также с возможностью проведения соответствующих институциональных трансформаций.

Определяя экологию в качестве приоритетного фактора устойчивого развития, многие ученые начали ориентировать свои научные изыскания на анализ последствий реализации экономических стратегий на изменение климата и на сокращение биоразнообразия [1], на исследование экологических стратегий [2], на разработку механизмов защиты окружающей среды от выбросов углекислого газа [3]. Накопление критической массы таких исследований, каждое из которых выявляет и раскрывает конкретную область устойчивого развития, позволило развернуть вектор научного поиска в сторону создания концепции устойчивой биоэкономики. Опираясь на диффузию в общественном пространстве принципиально новых методов повышения эффективности использования

биологических ресурсов и замещения в энергетическом балансе ископаемых ресурсов, устойчивая биоэкономика стала позиционироваться ее идеологами в качестве концептуальной основы экономики знаний [4].

Тем не менее, по оценке многих исследователей, внимание к биоэкономике пока еще ограничено преимущественно постановочными взглядами, нуждающимися во взаимном согласовании и конкретизации в направлении создания комплекса соответствующих организационных механизмов. Определенные итоги выполнения такой работы уже представлены в исследовании [5], в котором подходы к управлению устойчивым развитием крупномасштабных экономических систем изучаются с позиции распределенного вклада в его обеспечение отдельных хозяйствующих субъектов, а также в научных разработках [6] о механизмах так называемой абсолютной экологической устойчивости (absolute environmental sustainability (AES)).

С точки зрения позиционирования в системе развития так называемых умных городов проблема углеродной нейтральности детально рассматривается в другой большой тематической группе исследований в области декарбонизации. На этот раз в центре внимания исследователей оказываются инициативы по созданию безуглеродных городов<sup>2</sup>, альянса углеродно-нейтральных городов<sup>3</sup>, 100 климатически нейтральных городов<sup>4</sup>, ситидзен проектов [7] и др. Объединяющим началом для большинства входящих в эту группу исследований является трансформация как умных, так и традиционных городов в городские пространства, способные к 2050 г. располагать полным набором атрибутов устойчивого развития и углеродной нейтральности [8–10].

Следует отметить, что на базовом уровне развития научных основ декарбонизации предусматривается необходимость создания и запуска мотивационных механизмов поддержки экологического поведения в обществе и формирования осознанного отношения граждан к достижению углеродной нейтральности. Это предопределило закономерный интерес исследователей к изучению психологических аспектов декарбонизации, которые рассматриваются с позиций психосоциального измерения декарбонизации [11], психосоциально-экономической оценки ориентированной на человека политики достижения углеродной

<sup>2</sup> Net zero carbon cities: An integrated approach. Insight report. World Economic Forum, January 2021. 33 p. URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Net\\_Zero\\_Carbon\\_Cities\\_An\\_Integrated\\_Approach\\_2021.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Net_Zero_Carbon_Cities_An_Integrated_Approach_2021.pdf) (дата обращения: 25.06.2022).

<sup>3</sup> Carbon neutral cities alliance. 2021. URL: <https://carbonneutralcities.org/> (дата обращения: 25.06.2022).

<sup>4</sup> Proposed Mission: 100 Climate-Neutral Cities by 2030 – By and for the Citizens (Report of the Mission Board for Climate-Neutral and Smart Cities). European Commission. 2020. URL: [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research\\_and\\_innovation/funding/documents/ec\\_rtd\\_mission-board-report-climate-neutral-and-smart-cities.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/funding/documents/ec_rtd_mission-board-report-climate-neutral-and-smart-cities.pdf) (дата обращения 25.06.2022).

нейтральности [12] и аналитики влияния психологического фактора на эволюцию технологической базы устойчивой энергетики [13].

Системное и долгосрочное влияние декарбонизации на развитие экономик различных стран мира обусловило потребность в создании научного обеспечения стратегического управления соответствующим направлением деятельности [14–16].

В последние годы целый ряд ученых, ориентирующих свои разработки на поиск стратегических направлений достижения углеродной нейтральности, обратил внимание на возможность их количественного обоснования и качественной аргументации с помощью выявления закономерностей изобретательской активности в сфере технологий декарбонизации. Источником информации для решения такой исследовательской задачи являются глобальные и национальные патентные базы данных, содержащие подробную, достоверную и актуальную информацию о разработках любого технологического профиля. Исследование проблем декарбонизации с такой методической позиции предусматривает необходимость построения сетевой карты технологических разработок, узлами которой являются группы изобретений, относящиеся к определенным группам патентной классификации. Указанная методическая позиция достаточно развернуто представлена, например, в исследованиях Л. Лейдесдорфа с соавторами (L. Leydesdorff et al.) [17], Накамуры с соавторами (H. Nakamura et al.) [18], Л. Кея с соавторами (L. Kay et al.) [19] и др. Различная степень детализации создаваемых ими сетевых карт позволяет формировать как узконаправленный сфокусированный взгляд на отдельные технологии, так и проводить крупномасштабную визуализацию пространства изобретательской активности с демонстрацией многообразия связей между его технологическими областями. Рекомбинация таких связей и выявление на этой основе неявных технологических взаимозависимостей достаточно подробно рассматривается в исследованиях Л. Флеминга (L. Fleming) [20] и К. Фу с соавторами (K. Fu et al.) [21].

Следует отметить, что, несмотря на относительно низкую конверсию зарегистрированных изобретений в технологические инновации, патентные данные по-прежнему остаются одним из немногих источников информации, способных дать представление о сложившихся трендах технологического развития и о перспективном векторе их изменения [22].

Именно поэтому перед данным исследованием была поставлена цель использования патентной информации для выявления глобальных трендов изобретательской активности в сфере декарбо-

низации и определения степени их соответствия закономерностям патентной активности в российской экономике.

### Материалы и методы

Методикой проведения исследования предусмотрено решение двух основных аналитических задач:

- 1) систематизация направлений глобального технологического развития в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтральности с последующим определением интенсивности их проявления в технологическом пространстве различных стран мира;
- 2) выявление технологических решений в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтральности, в создании которых российские разработчики могут располагать определенными технологическими преимуществами.

Решение указанных задач базируется на использовании патентных данных. Их анализ по лекалам патентного ландшафтного проектирования позволяет использовать обнаруженные при этом закономерности как для создания карты текущей изобретательской активности в разных географических локациях и различных отраслевых проекциях, так и для обоснования траекторий перспективного развития определенных технологических областей.

Для систематизации направлений глобального развития технологий в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтральности были использованы данные поисковой системы Европейского патентного ведомства «Espacenet» за период 2010–2021 гг. При проведении отдельных аналитических процедур этот временной период был расширен на всю глубину доступного архива первичной информации о патентной активности в сфере изменения климата. Единицей первичных аналитических данных была определена так называемая патентная публикация, которая может быть представлена либо патентом, либо патентной заявкой, либо периферийным техническим документом. Агрегирование этих патентных публикаций в среде поисковой системы «Questel Orbit» позволило выявить и проанализировать патентные семейства в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтральности. При формировании патентного ландшафта для рассматриваемой предметной области была использована совместная патентная классификация (CPC), в контуре которой объектом исследования стал класс Y02 – технологии или практики их применения для смягчения или адаптации к изменению климата. В этот класс входят следующие восемь подклассов:

1. Y02A – технологии адаптации к изменению климата;

2. Y02B – технологии смягчения изменения климата, относящиеся к зданиям;
3. Y02C – улавливание, хранение, секвестрация или удаление парниковых газов;
4. Y02D – информационные технологии смягчения изменения климата и коммуникационных технологий;
5. Y02E – сокращение выбросов парниковых газов, связанных с производством, передачей или распределением энергии;
6. Y02P – технологии смягчения изменения климата при производстве или переработке товаров;
7. Y02T – технологии смягчения изменения климата, связанные с транспортировкой;
8. Y02W – технологии смягчения изменения климата, связанные с очисткой сточных вод или управлением отходами.

Периферией целевой области, ограниченной рамками подкласса Y02, дополнительно были определены, во-первых, группа Y04S – системы, интегрирующие технологии, относящиеся к эксплуатации электросетей, коммуникационным или информационным технологиям для совершенствования производства, передачи электроэнергии, распространение, управление или использование, то есть умные сети, а во-вторых, подкласс B09 – утилизация твердых отходов, рекультивация загрязненной почвы.

Выявление технологических решений в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтральности, в создании которых российские разработчики могут располагать определенными технологическими преимуществами, проводилось с использованием индекса выявленного технологического преимущества (RTA – Revealed Technology Advantage). В исследованиях Р. Босма (R. Boschma) и др. [23, 24] и Дж. Кантвелла и Дж. Вертовой (J.A. Cantwell, G. Vertova) [25] результаты расчета значений этого индекса были использованы для идентификации и интерпретации усилий разных стран мира в регистрации патентов, относящихся к различным кодам патентной классификации.

Расчет индекса RTA проводится по следующей формуле:

$$RTA = \frac{\frac{X_{PRU_i}}{\sum_{ij} X_{PRU_{ij}}}}{\frac{X_{PW_i}}{\sum_{ij} X_{PW_{ij}}}}, \quad (1)$$

где  $X_{PRU_i}$  – количество зарегистрированных в России патентов по  $i$ -коду экологического реестра МПК;

$\sum_{ij} X_{PRU_{ij}}$  – количество всех зарегистрированных в России патентов;

$X_{PW_i}$  – количество зарегистрированных в мире патентов  $i$ -коду экологического реестра МПК;

$\sum_{ij} X_{PW_{ij}}$  – количество всех зарегистрированных в мире патентов.

При расчете индекса RTA для исследования специализации российских правообладателей на создании технологий декарбонизации, соответствующих кодам патентной классификации, был использован так называемый Экологический реестр МПК (IPC Green Inventory)<sup>5</sup>. Он включает 7 основных групп кодов МПК: производство альтернативной энергии; транспорт; энергосбережение; управление отходами; сельское/лесное хозяйство; административные, регулирующие или проектные аспекты; атомная энергетика (alternative energy production; transportation; energy conservation; waste management; agriculture / forestry; administrative, regulatory or design aspects; nuclear power generation). Источником информации для проведения расчетов индексов RTA послужили данные Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO) и Роспатента за период 2010–2022 гг.

### Результаты исследования

По запросу «decarbonization» и производных от него ключевых слов поисковая система «Google Patents» предоставляет информацию о 34 072 патентах, зарегистрированных за период с 01.01.2010 по 31.12.2021 гг. Любопытно, что на первые 5 лет анализируемого периода времени (2010–2015 гг.) приходится 15 889 патентов, а на вторую пятилетку (2016–2021 гг.) – уже 18 151 патент, что в 1,2 раза больше<sup>6</sup>. Еще более результативной динамикой характеризуются результаты аналогичного поиска по коллекциям базы данных «Espacenet»: при количестве регистраций в 4 377 патентов за период 2010–2015 гг. и 6 997 патентов за период 2016–2021 гг. рост составляет 1,6 раз<sup>7</sup>.

Согласно данным «Espacenet» на 31.12.2021 г., в классе CPC Y02 зарегистрировано 3 649 282 патента, из которых к периоду 2010–2015 гг. относится 851 449 патентов, а к периоду 2016–2021 гг. – 1 369 615 патентов. Такая стремительная дина-

<sup>5</sup> IPC Green Inventory. URL: <https://www.wipo.int/classifications/ipc/green-inventory/home> (дата обращения: 01.11.2022).

<sup>6</sup> Портал поиска по патентным документам Google Patents. URL: <https://www.patents.google.com> (дата обращения: 07.11.2022).

<sup>7</sup> Портал Европейского патентного ведомства «European patent office». URL: <https://worldwide.espacenet.com> (дата обращения: 07.11.2022).

мика может свидетельствовать о том, что принятие Парижского соглашения действительно стало важной движущей силой развития технологической базы процессов декарбонизации. Для подтверждения этой гипотезы сравним патентную активность в классе Y02 и в ряде референтных классов CPC, в число которых включим классы A01 – сельское хозяйство; лесное хозяйство; животноводство; охота; отлов; рыболовство (всего 2226561 патент), B08 – очистка (всего 584415 патентов), C02 – обработка воды, сточных вод, сточ-

ных вод или шлама (всего 826 192 патентов), E21 – бурение земли, добыча (всего 734049 патентов), F02 – двигатели сгорания; установки для двигателей, работающих на горячих газах или продуктах сгорания (всего 935 037 патентов), G05 – контроль, регулировка (всего 1 004 393 патента), H02 – генерация, преобразование или распределение электроэнергии (всего 2598791 патент). Динамика патентной активности в этих классах в анализируемые периоды времени представлена в табл. 1.

Таблица 1

## Динамика патентной активности в классе Y02 и его референтных классах CPC

Table 1

## Dynamics of patent activity in class Y02 and its reference CPC classes

Подкласс CPC	Количество патентов 2010–2015 гг., ед.	Количество патентов 2016–2021 гг., ед.	Темп роста, %
A01 – сельское хозяйство; лесное хозяйство; животноводство; охота; отлов; рыболовство	372 024	818 831	220,1
B08 – очистка	62 444	399 217	639,3
C02 – обработка воды, сточных вод, сточных вод или шлама	144 219	393 118	272,6
E21 – бурение земли, добыча	172 802	236 684	136,9
F02 – двигатели сгорания; установки для двигателей, работающих на горячих газах или продуктах сгорания	138 431	132 465	95,7
G05 – контроль, регулировка	168 756	305 712	181,6
H02 – генерация, преобразование или распределение электроэнергии	484 503	958 355	197,8
Y02 – технологии и практики их применения для смягчения или адаптации к изменению климата	851 449	1 369 615	160,9

Составлено авторами.

Compiled by the authors.

Анализ представленной в таблице информации позволяет сделать вывод о том, что класс Y02, несмотря на среднюю относительно других рассматриваемых классов динамику патентования, характеризуется наибольшим абсолютным числом регистраций охранных документов, значительно превосходя в этом отношении классы с такой традиционно высокой изобретательской активностью, как A01 – сельское хозяйство; лесное хозяйство; животноводство; охота; отлов; рыболовство и H02 – генерация, преобразование или распределение электроэнергии.

Если обратиться к патентной активности, ориентируясь на подклассы самого класса Y02 (табл. 2), то становится ясно, что доминирующими среди них пока остаются подклассы Y02E – сокращение выбросов парниковых газов, связанных с производством, передачей или распределением энергии, Y02P – технологии смягчения изменения климата при производстве или переработке товаров и Y02T – технологии смягчения изменения климата,

связанные с транспортировкой. На их долю суммарно приходится свыше 68% всех относящихся к данному классу регистраций. Однако в последние годы максимальную динамику роста демонстрируют совсем другие подклассы: Y02A – технологии адаптации к изменению климата и Y02W – технологии смягчения изменения климата, связанные с очисткой сточных вод или управлением отходами.

Периферия анализируемой области исследования, сформированная группой Y04S и классом B09, отличается еще более показательной динамикой роста, чем по подклассам Y02. Так, по группе Y04S накопленным итогом зарегистрировано 72 646 документов, в том числе за период 2010–2015 гг. – 22 700 патентов, а за период 2016–2021 гг. – в 1,7 раза больше (39 203 патента). Аналогичная картина наблюдается и по подклассу B09. В его случае накопленным итогом зарегистрировано 138 608 патентов, в том числе за период 2010–2015 гг. – 22 689 единиц, а за период 2016–2021 гг. – почти в 2,5 раза больше, 51 132 патента.

Таблица 2

## Динамика патентной активности в сфере изменения климата

Table 2

## Dynamics of patent activity in the field of climate change

Подкласс CPC	Патентов всего, ед.	Количество па- тентов 2010– 2015 гг., ед.	Количество па- тентов 2016– 2021 гг., ед.	Темп роста, %
Y02A – технологии адаптации к изменению климата	496 083	101 002	224 971	222,7
Y02B – технологии смягчения изменения климата, относящиеся к зданиям	340 760	95 643	137 382	143,6
Y02C – улавливание, хранение, секвестрация или удаление парниковых газов;	19 109	5 370	5 813	108,2
Y02D – информационные технологии смягчения изменения климата и коммуникационных технологий	114 786	34 722	42 398	122,1
Y02E – сокращение выбросов парниковых газов, связанных с производством, передачей или распределением энергии	1 503 941	373 691	545 236	145,9
Y02P – технологии смягчения изменения климата при производстве или переработке товаров	767 629	188 496	313 763	166,5
Y02T – технологии смягчения изменения климата, связанные с транспортировкой	500 967	119 105	171 428	143,9
Y02W – технологии смягчения изменения климата, связанные с очисткой сточных вод или управлением отходами	312 372	59 287	114 325	192,8
ИТОГО ПО ВСЕМ ПОДКЛАССАМ	4 055 647	977 316	1 555 316	159,1

Составлено авторами.

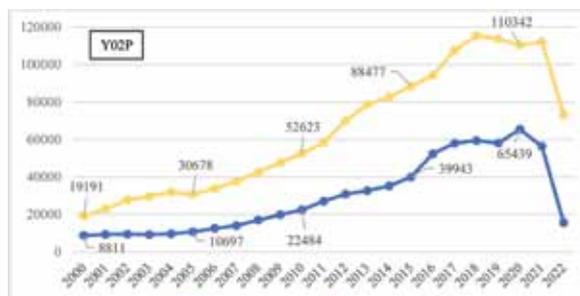
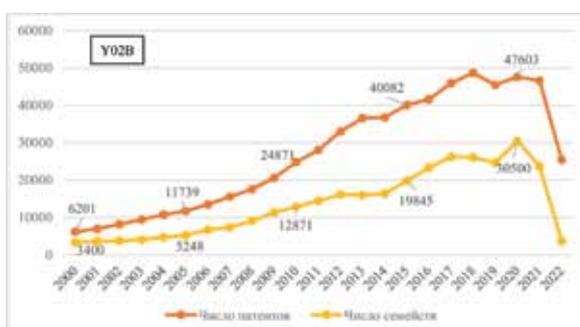
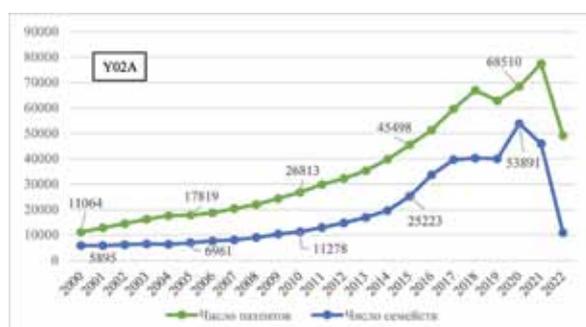
Compiled by the authors.

Анализируя представленную на рис. 1 динамику патентной активности в классе Y02, становится ясно, что, несмотря на более чем двадцатилетний устойчивый рост числа патентных регистраций, разрыв между количеством патентных документов и патентных семейств пока еще не достиг кратных значений. В среднем по классу Y02 патентные семейства состоят не более, чем из двух патентных публикаций. Некоторое отклонение от данной закономерности демонстрируют лишь относительно незначительные по размерам подклассы Y02C (улавливание, хранение, секвестрация или удаление парниковых газов) и Y02D (информационные технологии смягчения изменения климата и коммуникационных технологий). Отсутствие кратного разрыва между патентами и семействами свидетельствует о нахождении основной массы технологических разработок в исследуемой предметной области либо на фазе технологического триггера, либо на фазе пика чрезмерных ожиданий, которые в координатах Нуре Cycle относятся к ранним фазам рыночной зрелости. Как правило, на этих фазах еще отсутствуют коммерчески успешные технологические и продуктовые решения. Именно по причине отсутствия таких массовых решений пока еще не наблюдается ускоренного территориального расширения правовой охраны

существующих патентов, что, соответственно, сохраняет относительно небольшие размеры абсолютного большинства существующих семейств в контуре почти всех подклассов класса Y02.

Поиск причин сложившейся ситуации предопределяет необходимость погружения в отдельные детали базы патентов анализируемой предметной области. Такую детализацию проведем на примере подкласса Y02E. Именно по нему в последние 5 лет было зафиксировано самое большое количество регистраций – 545 236 единиц. Свое подтверждение этот факт получает благодаря отраслевой структуре патентования технологий и практик их применения для смягчения или адаптации к изменению климата. Из данных рис. 2 видно, что основной специализацией таких технологий и практик является именно сфера «electrical machinery, apparatus, energy».

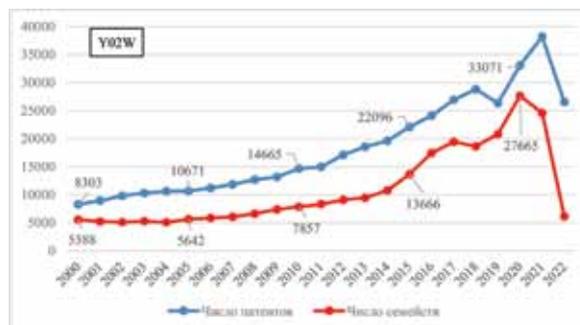
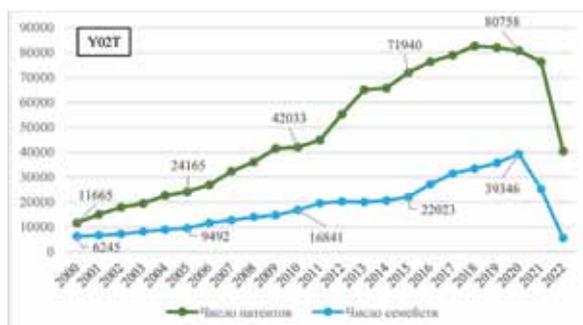
Следует отметить, что в целом в базе данных «Questel Orbit» в классе Y02 зарегистрировано 3 578 865 патентов и 99 698 источников непатентной информации, в том числе в интересующем нас подклассе Y02E – 535 682 патента. Динамика патентования в этом подклассе за период 2002–2022 гг. представлена на рис. 3.



Составлено авторами.

Рис. 1. Динамика регистрации патентов и возникновения патентных семейств в классе Y02 (технологии или практики их применения для смягчения или адаптации к изменению климата) CPC и его подклассах  
Compiled by the authors.

Fig. 1. Trends in patent registrations and the emergence of patent families in class Y02 (technologies or practices for climate change mitigation or adaptation) CPC and its subclasses



Составлено авторами.

Окончание рис. 1. Динамика регистрации патентов и возникновения патентных семейств в классе Y02 (технологии или практики их применения для смягчения или адаптации к изменению климата) CPC и его подклассах  
Compiled by the authors.

End of Fig. 1. Trends in patent registrations and the emergence of patent families in class Y02 (technologies or practices for climate change mitigation or adaptation) CPC and its subclasses

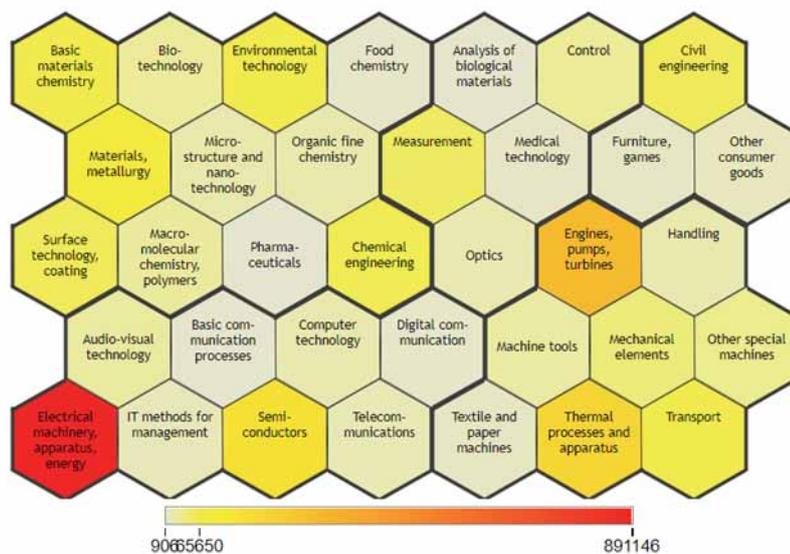
Количество и размеры патентных семейств по этому подклассу CPC, данные по которым представлены на рис. 4, свидетельствуют о том, что их самая высокая концентрация приходится на системы хранения энергии и ее производство с помощью альтернативных источников, включая, прежде всего, солнечную и ветряную генерацию.

Интересно, что лидирующие позиции по патентованию в рамках подкласса Y02E на протяжении последних 5-ти лет занимают Китай, Япония, Южная Корея, США и ряд других стран, о чем свидетельствуют данные рис. 5.

Доминирование этих стран в подклассе Y02E патентной классификации находит свое отражение в данных на рис. 6, где систематизирована инфор-

мация об основных правообладателях интеллектуальной собственности в указанном подклассе.

Видно, что 9% патентов рассматриваемого подкласса владеют всего 10 компаний, большинство из которых японские. Именно они располагают крупнейшими патентными семьями в сфере технологий смягчения или адаптации к изменению климата и практик их реализации, определяя мейнстрим технологической реализации программ борьбы с климатическими изменениями. Однако, если структурировать патентные портфели данных компаний с позиции соотношения между действующими и потерявшими силу охраняемыми документами, то картина существенно меняется (рис. 7).

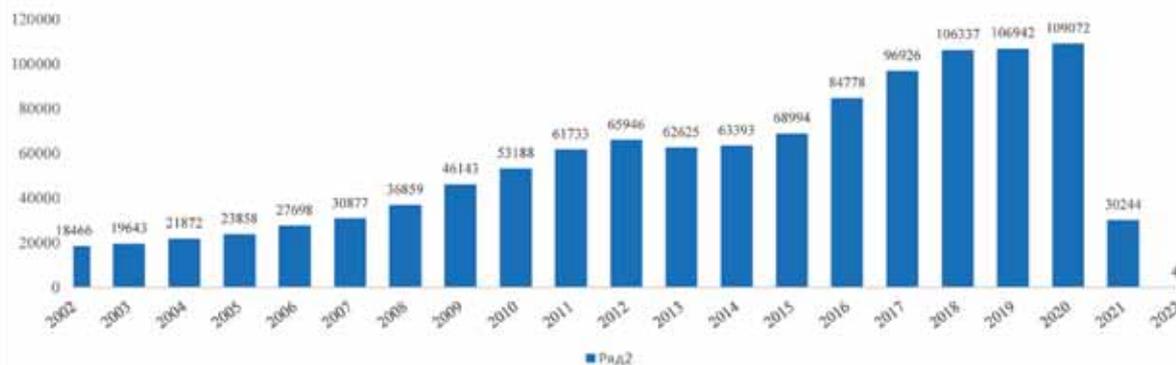


Составлено авторами по данным глобального портала информации по патентам на изобретения и промышленные образцы Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (дата обращения: 07.11.2022).

**Рис. 2. Отраслевая структура патентования технологии применения для смягчения или адаптации к изменению климата**

Compiled by the authors based on Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (accessed: 07.11.2022).

**Fig. 2. Industry structure for patenting technology applications for climate change mitigation or adaptation**



Составлено авторами по данным глобального портала информации по патентам на изобретения и промышленные образцы Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (дата обращения: 07.11.2022).

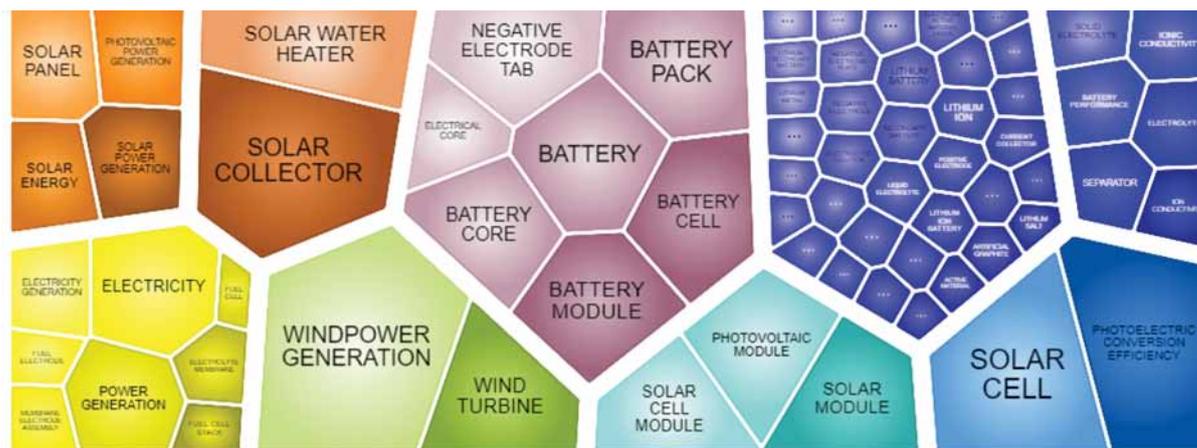
**Рис. 3. Глобальная динамика регистрации патентов по подклассу Y02E CPC, ед.**

Compiled by the authors based on Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (accessed: 07.11.2022).

**Fig. 3. Global dynamics of patent registration by subclass Y02E CPC, units**

Видно, что реальные масштабы патентных портфелей глобальных игроков рынка технологий декарбонизации гораздо меньше формально фиксируемых. Из 30-ти таких игроков 20 в настоящее время располагают базой патентов, в которой больше

половины охранных документов прекратили свое действие. Показательно, что наиболее интенсивное снижение как доли действующих патентов, так и их абсолютного количества в патентном портфеле демонстрируют, прежде всего, япон-

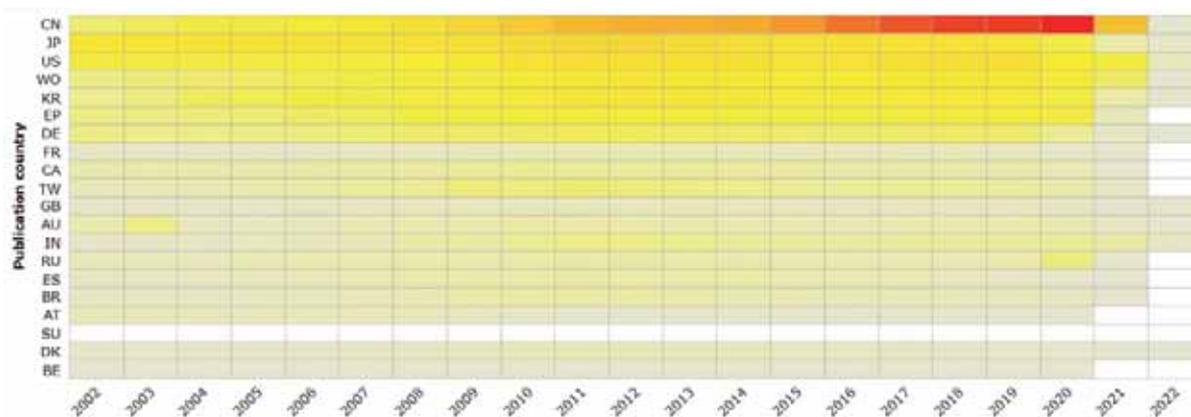


Составлено авторами по данным глобального портала информации по патентам на изобретения и промышленные образцы Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (дата обращения: 07.11.2022).

Рис. 4. Технологическая кластеризация патентных семей в подклассе Y02E CPC

Compiled by the authors based on Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (accessed: 07.11.2022).

Fig. 4. Technological clustering of patent families in subclass Y02E CPC



Составлено авторами по данным глобального портала информации по патентам на изобретения и промышленные образцы Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (дата обращения: 07.11.2022).

Рис. 5. Температурная карта распределения стран мира по активности патентования в подклассе Y02E CPC

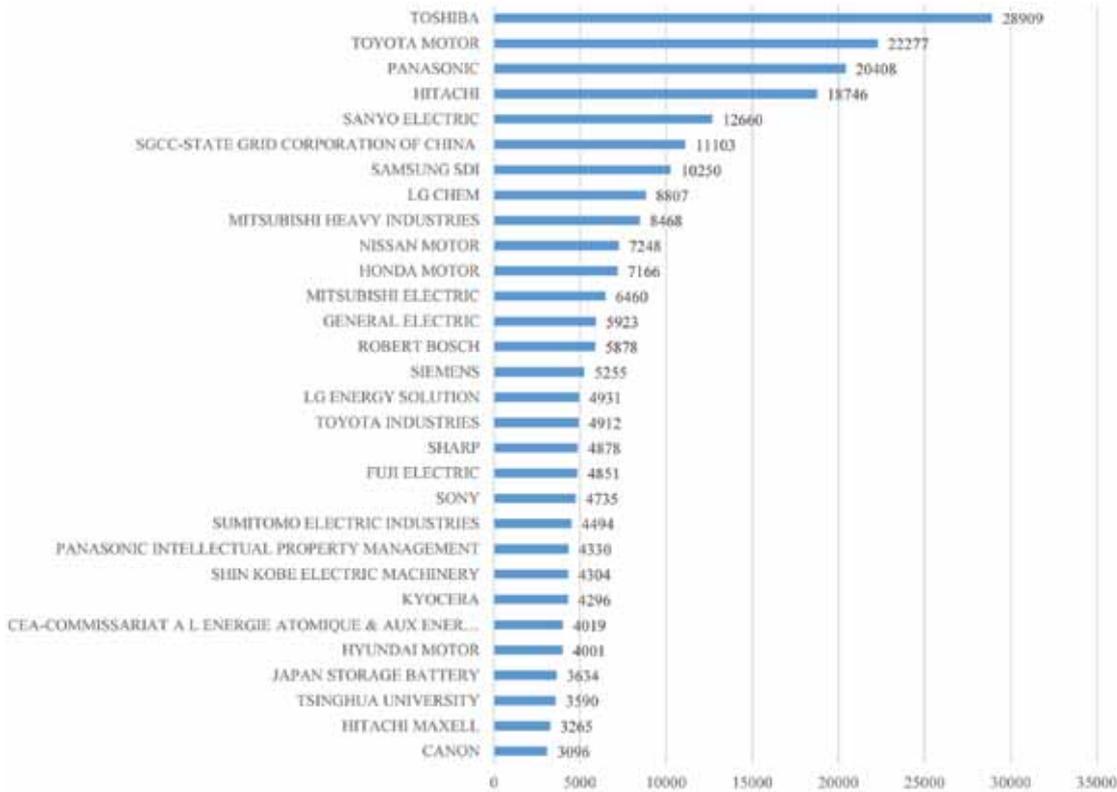
Compiled by the authors based on Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (accessed: 07.11.2022).

Fig. 5. Temperature map of the distribution of countries in the world by patenting activity in the Y02E CPC subclass

ские компании – «Toshiba», «Panasonic», «Hitachi», «Sanyo Electric», «Honda Motor», «Nissan Motor» и др. Компания «Toyota», пока еще продолжающая находиться на первом месте по числу актуальных патентов, также существенно снижает их долю в своем патентном портфеле.

При этом компании из Китая и Республики Корея, напротив, показывают планомерную положительную динамику как числа располагаемых охранных документов, так и их доли в патентном портфеле. По всей видимости, первая волна разработчиков

безуглеродных технологий, которая концентрировалась преимущественно в сфере автомобилестроения, не сумела или же не посчитала возможным и необходимым эволюционировать в контуре очередного, более диверсифицированного с точки зрения областей применения, технологического уклада, сохранив свою сравнительно ограниченную специализацию. Китайские и южнокорейские компании, оказавшись во второй волне разработчиков безуглеродных технологий, с одной стороны, изначально концентрировались на более



Составлено авторами по данным глобального портала информации по патентам на изобретения и промышленные образцы Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (дата обращения: 07.11.2022).

Рис. 6. Основные правообладатели патентных семей в подклассе Y02E CPC

Compiled by the authors based on Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (accessed: 07.11.2022).

Fig. 6. Principal holders of the patent families in subclass Y02E CPC

узких технологических решениях, относящихся, например, к отдельным технологическим областям аккумулирования энергии, однако, с другой стороны, характеризовались своей универсальностью, благодаря которой могли ориентироваться на многоотраслевой спрос.

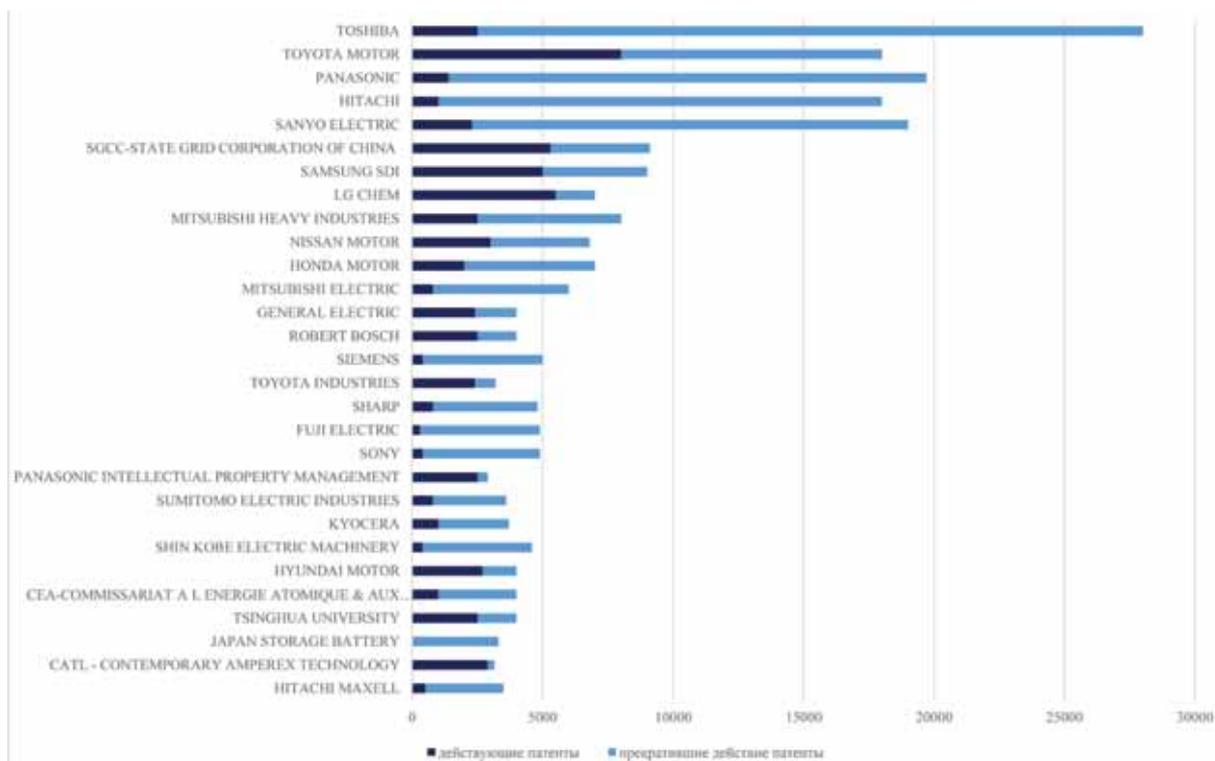
В соответствии с методикой проведения исследования после систематизации направлений глобального технологического развития в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтральности обратимся к анализу сравнительных технологических преимуществ, которыми в данной сфере деятельности может располагать российская экономика. Для этого сформируем базу первичной патентной информации, воспользовавшись Экологическим реестром МПК. Он содержит в себе коды патентной классификации, прямо или опосредовано связанные с технологическими разработками в сфере декарбонизации и достижения углеродной нейтральности. В данном реестре 7 позиций первого уровня, 46 позиций второго уровня, 75 позиций третьего уровня, 46 позиций четвертого уровня и 8 позиций пятого уровня.

Системообразующий первый уровень реестра представлен следующими позициями:

- производство альтернативной энергии (alternative energy production);
- транспорт (transportation);
- энергосбережение (energy conservation);
- управление отходами (waste management);
- сельское/лесное хозяйство (agriculture / forestry);
- административные, регулирующие или проектные аспекты (administrative, regulatory or design aspects);
- атомная энергетика (nuclear power generation).

В целях обеспечения баланса между информативностью представления результатов расчета значений индекса RTA и компактностью их изложения, необходимой для последующей качественной интерпретации, соответствующие расчетные процедуры проведем по позициям Экологического реестра трех первых уровней.

Поиск первичной патентной информации для расчета значений RTA по кодам Экологического реестра



Составлено авторами по данным глобального портала информации по патентам на изобретения и промышленные образцы Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (дата обращения: 07.11.2022).

**Рис. 7. Соотношение между действующими и прекратившими действие патентами в патентных семьях крупнейших правообладателей в подклассе Y02E CPC**

Compiled by the authors based on Questel Orbit. URL: <https://www.orbit.com/> (accessed: 07.11.2022).

**Fig. 7. Correlation between active and lapsed patents in the patent families of the largest right holders in CPC subclass Y02E**

стра МПК выполним с использованием поисковых систем Роспатента и Всемирной организации интеллектуальной собственности.

Необходимость использования при расчете данного индекса патентных кодов именно МПК, а не СПК (CPC) обусловлена следующими обстоятельствами:

- регистрацией российских патентов исключительно в кодах МПК;
- невозможностью прямого и точного соотнесения кодов Экологического реестра МПК с кодами СПК: рубрика Y (в том числе класс Y02 – технологии или практики их применения для смягчения или адаптации к изменению климата) СПК вообще отсутствует в МПК.

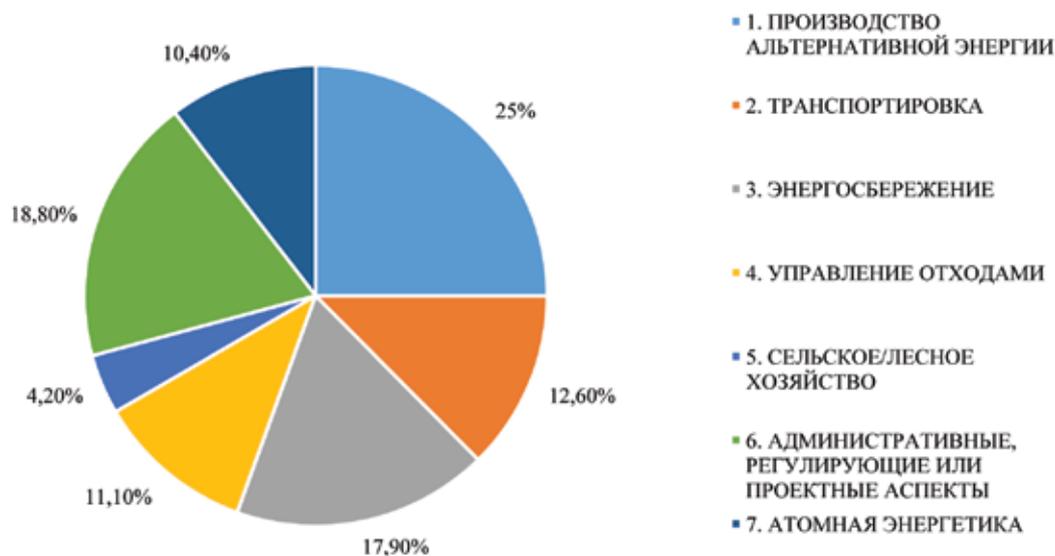
Временной горизонт поиска по базам данных Роспатента и ВОИС ограничим датами приоритета, которые укладываются в период с 01.01.2010 по 07.11.2022 гг.

Проведенный поиск по указанным базам данных показал, что в рамках заданного интервала времени Федеральной службой по интеллектуальной

собственности было зарегистрировано 251 080 патентов, из которых 9 322 патента было зарегистрировано по кодам трех первых позиций Экологического реестра МПК. Глобально ориентированный поиск с такими же условиями ограничения показал наличие 51 760 787 зарегистрированных патентов, среди которых 1 928 806 патентов пришлось на аналогичные коды Экологического реестра. Как в России, так и в целом по миру доля патентов с кодами Экологического реестра в общем количестве зарегистрированных патентов оказалась практически идентичной – 3,7%.

В более чем половине формальных позиций первых трех первых уровней Экологического реестра МПК значения индекса RTA оказались выше единицы. В соответствии с методикой расчета данного индекса это означает, что в разработке рассматриваемых технологических групп наша страна может располагать определенными преимуществами.

Из анализа представленной на рис. 8 информации следует, что в России наиболее высокая изобретательская активность приходится, во-первых,



Составлено авторами по данным Информационно-поисковой системы Федерального института промышленной собственности. URL: <https://www1.fips.ru/iiss/> (дата обращения: 07.11.2022).

Рис. 8. Распределение российских патентов между позициями первого уровня Экологического реестра МПК

Compiled by the authors based on Information retrieval system of the Federal Institute of Industrial Property. URL: <https://www1.fips.ru/iiss/> (accessed: 07.11.2022)

Fig. 8. Distribution of Russian patents between the positions of the first level of the IPC Environmental Register

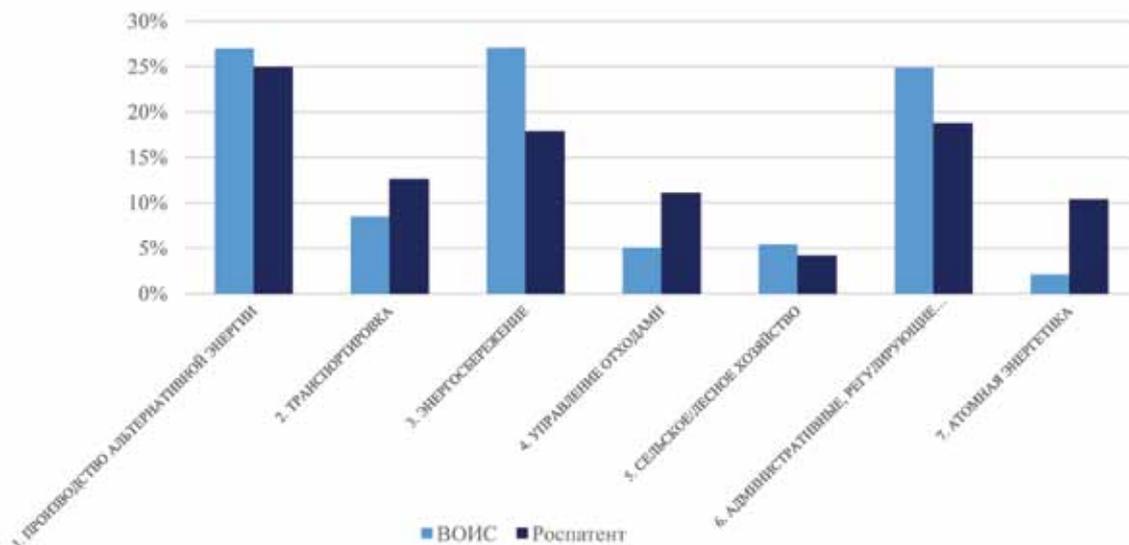
на разработки в сфере производства альтернативной энергии, во-вторых, на разработки в сфере административных, регулирующих и проектных аспектов экологизации и, в-третьих, энергосбережения. Если соотнести эти значения с аналогичными данными по миру в целом, то видно определенное несоответствие между ними (рис. 9).

В частности, в России существенно выше доля патентов в сферах атомной энергетики, управления отходами и развития транспортных систем. При этом, в отличие от сложившейся общемировой практики, в нашей стране наблюдается меньшая относительная изобретательская активность в отношении технологий энергосбережения, административных, регулирующих и проектных аспектов экологизации, а также технологий производства альтернативной энергии. В целях изучения неявных относительных технологических преимуществ России в контуре разработок по кодам Экологического реестра МПК обратимся к значениям индекса RTA по позициям его второго и третьего уровней. Их анализ показывает, что наиболее высокая концентрация позиций со значениями индекса RTA > 1 представлена, прежде всего, в сфере атомной энергетики (рис. 10).

Кроме того, под технологии атомной энергетики подпадает позиция третьего уровня «Силовые

установки или агрегаты на судах с использованием атомной энергии», которая формально включена в структуру позиции первого уровня «Транспортировка». Для нее значение индекса RTA достигает аномально высокого значения – в 309,2, что, впрочем, объясняется крайне незначительной патентной активностью по данной позиции как в мире, так и в России. Во многом существенно меньшей плотностью патентования разработок в сфере атомной энергетики, по всей видимости, объясняются и высокие значения индексов RTA ранее указанных российских разработок, вписанных в периметр соответствующей технологической сферы.

Для группы технологий в сфере транспорта значениями RTA > 1 характеризуется сразу 7 позиций (рис. 11). Из них самое высокое значение (RTA = 18,08) принадлежит позиции, агрегирующей патенты на технологии космических аппаратов с использованием раскрываемых солнечных батарей. Разработка этих технологий носит нишевый характер, с очевидно невысокой изобретательской активностью в пространстве большинства национальных экономик. Второе и третье места по значениям RTA занимают позиции, привязанные к технологиям рельсового транспорта – «Модификация формы кузова железнодорожных транспортных средств с це-

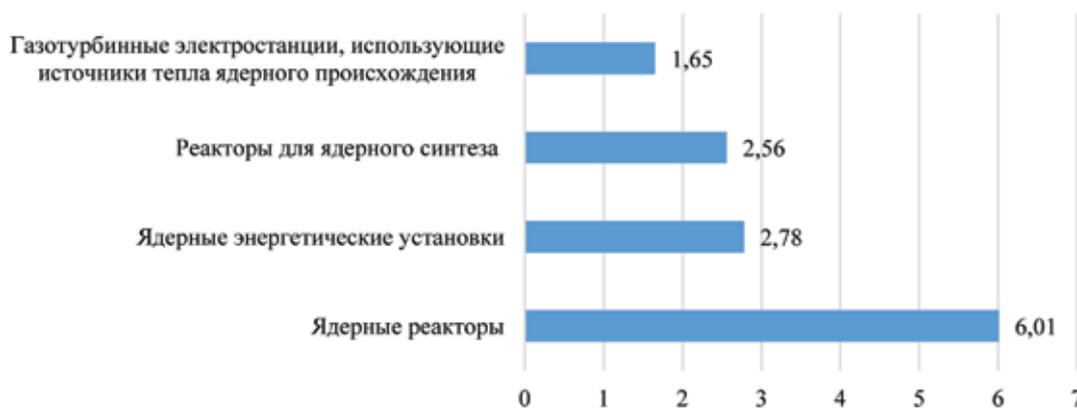


Составлено авторами по данным Информационно-поисковой системы Федерального института промышленной собственности. URL: <https://www1.fips.ru/iiss/>; системы PATENTSCOPE WIPO. URL: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> (дата обращения: 07.11.2022).

Рис. 9. Распределение патентов между позициями первого уровня Экологического реестра МПК по миру (данные ВОИС) и по России (данные Роспатента)

Compiled by the authors based on Information retrieval system of the Federal Institute of Industrial Property URL: <https://www1.fips.ru/iiss/>; PATENTSCOPE WIPO database. URL: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> (accessed: 07.11.2022)

Fig. 9. Distribution of patents between the positions of the first level of the IPC Environmental Register around the world (WIPO data) and in Russia (Rospatent data)



Составлено авторами по данным Информационно-поисковой системы Федерального института промышленной собственности. URL: <https://www1.fips.ru/iiss/>; системы PATENTSCOPE WIPO. URL: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> (дата обращения: 07.11.2022).

Рис. 10. Значения индекса RTA для групп технологий в сфере атомной энергетики в России

Compiled by the authors based on Information retrieval system of the Federal Institute of Industrial Property URL: <https://www1.fips.ru/iiss/>; PATENTSCOPE WIPO database. URL: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> (accessed: 07.11.2022)

Fig. 10. Values of the RTA index for the groups of technologies in the field of nuclear energy in Russia

лю снижения сопротивления воздуха» (RTA = 11,1) и «Рельсовые транспортные средства» (RTA = 5,07). Достижению таких относительно высоких значений индекса RTA по двум этим позициям во многом способствует традиционно особое внимание нашей

страны к развитию внутренней сети железных дорог и их инфраструктурному обеспечению.

Наконец, по основной позиции Экологического реестра МПК – технологии производства аль-

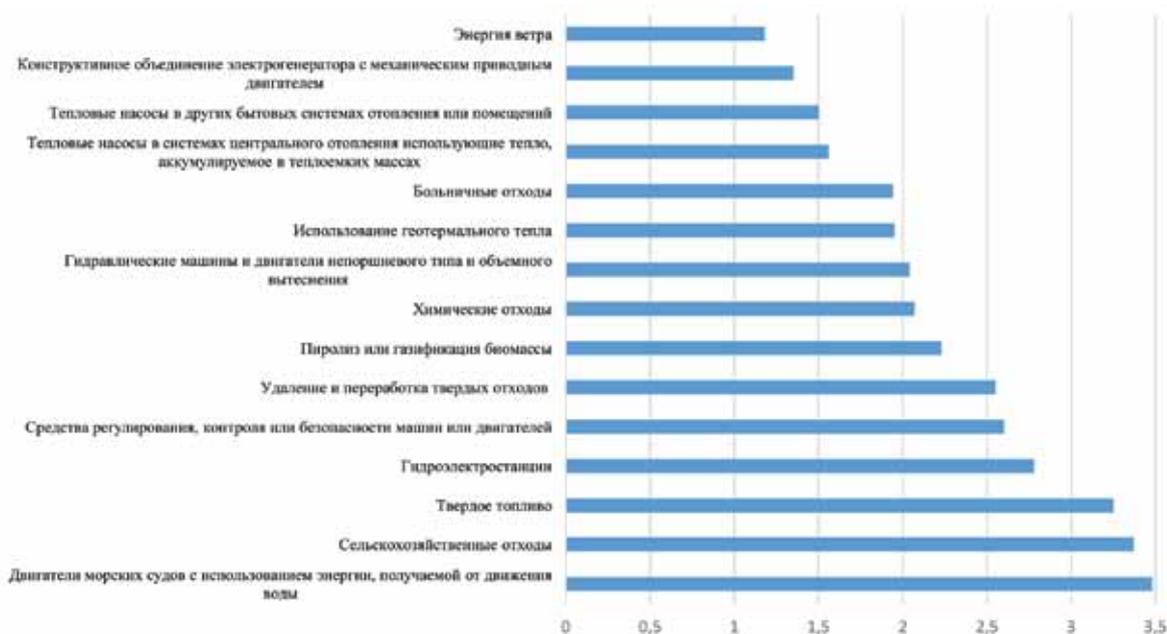


Составлено авторами по данным Информационно-поисковой системы Федерального института промышленной собственности. URL: <https://www1.fips.ru/iiss/>; системы PATENTSCOPE WIPO. URL: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> (дата обращения: 07.11.2022).

Рис. 11. Значения индекса RTA для групп российских технологий в области транспорта

Compiled by the authors based on Information retrieval system of the Federal Institute of Industrial Property URL: <https://www1.fips.ru/iiss/>; PATENTSCOPE WIPO database. URL: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> (accessed: 07.11.2022)

Fig. 11. Values of the RTA index for the groups of Russian technologies in the field of transport



Составлено авторами по данным Информационно-поисковой системы Федерального института промышленной собственности. URL: <https://www1.fips.ru/iiss/>; системы PATENTSCOPE WIPO. URL: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> (дата обращения: 07.11.2022).

Рис. 12. Значения индекса RTA для групп российских технологий в области производства альтернативной энергии

Compiled by the authors based on Information retrieval system of the Federal Institute of Industrial Property URL: <https://www1.fips.ru/iiss/>; PATENTSCOPE WIPO database. URL: <https://www.wipo.int/patentscope/en/> (accessed: 07.11.2022)

Fig. 12. RTA index values for the groups of Russian technologies in the field of alternative energy production

тернативной энергии, Россия отметилась минимальным превышением порогового уровня RTA по традиционной для возобновляемой энергетики технологической группе, связанной с использованием энергии ветра (RTA = 1,18). Сопоставимыми значениями этого индекса отличаются и группы технологий в области тепловых насосов. При этом несколько более высокими оказались значения индекса RTA для гидравлической и биоэнергетики.

Следует отметить, что, наряду с относительно высокими значениями индекса RTA по рассмотренным группам технологий, российское изобретательское пространство демонстрирует низкие значения данного индекса по целому ряду принципиально важных с точки зрения декарбонизации и достижения углеродной нейтральности технологических групп. В их числе особое внимание обращают на себя группы технологий в сферах солнечной энергетики (RTA = 0,28), газификации (RTA = 0,53), парогазовых установок с внутрицикловой газификацией (RTA = 0,46), аккумулирования электрической энергии (RTA = 0,41), топливных элементов (RTA=0,38) и гибридных транспортных средств (RTA = 0,17).

### Выводы

Во-первых, безуглеродные технологии были и остаются в тренде патентования среди других технологических решений, регистрируемых в мире в качестве объектов интеллектуальной собственности. Важный вклад в качественное усиление динамики патентной активности в этой области оказало вступление в силу в 2015 г. целей устойчивого развития ООН, включая такие системообразующие для глобального сообщества цели, как цель 7 (Обеспечение доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех) и цель 13 (Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями).

Во-вторых, область патентования технологических разработок, направленных на борьбу с изменением климата, достаточно обширна и охватывает технологии смягчения изменения климата, относящиеся как к строительству и эксплуатации зданий, так и к производству и переработке товаров, транспортным средствам, очистке сточных вод и управлению отходами. Важнейшими среди них являются технологии производства, передачи и распределения энергии, на долю которых приходится свыше трети всех зарегистрированных за последние 5 лет технологических решений в важнейшем для анализируемой предметной области классе CPC – Y02.

В-третьих, патентный ландшафт в сфере технологий декарбонизации, относящихся к производ-

ству, передаче и распределению энергии, является весьма фрагментированным не только в продуктово-тематическом срезе, но и в территориальном аспекте. Об этом свидетельствует определенное несоответствие между: с одной стороны, данными температурной карты распределения стран мира по активности патентования в подклассе Y02E, где доминирующая позиция принадлежит Китаю, с другой стороны, данными о крупнейших правообладателях в этом же подклассе в лице, прежде всего, ведущих японских, а не китайских компаний. Это говорит о том, что большинство патентных семейств в сфере технологий декарбонизации является, во-первых, китайскими, а во-вторых, не отличается большими размерами, характеризуясь начальной фазой разработки, которая еще достаточно далека до фазы создания готовых рыночных решений.

В-четвертых, российское изобретательское пространство характеризуется определенным балансом между группами технологий Экологического реестра МПК с высоким и низким уровнем индекса RTA. При этом отчетливо просматривается специализация российских заявителей на технологических разработках, относящихся, прежде всего, к сферам атомной энергетики и развития рельсовых транспортных систем. Традиционные области декарбонизации, представленные разработками в сфере производства альтернативной энергии, включая технологии солнечной генерации, аккумулирования энергии, использования энергии ветра и т.д., характеризуются существенно менее высокими значениями индекса выявленного технологического преимущества, что определяет перспективный вектор усилий по развитию отечественной технологической платформы обеспечения углеродной нейтральности.

В-пятых, построение пространства изобретательской активности в сфере технологий декарбонизации позволяет выявлять и анализировать сеть как явных, так и неочевидных взаимосвязей данных технологий с разработками из других технологических областей. Такой подход открывает определенные возможности для целенаправленного проектирования междисциплинарных кооперационных цепочек между разработчиками опосредованно соотносимых технологических разработок и производителями конечной продукции. Учитывая нахождение технологической платформы декарбонизации на переднем крае современного этапа научно-технического прогресса и ее во многом системообразующий характер по отношению к ряду других отраслевых и межотраслевых технологических платформ, данная задача приобретает особую актуальность.

### Список источников / References

1. Boulton W.R., Lindsay W.M., Franklin S.G., Rue L.W. Strategic planning: Determining the impact of environmental characteristics and uncertainty. *Academy of Management Journal*. 1982. Vol. 25. Iss. 3. P. 500–509. <https://doi.org/10.5465/256076>. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10298750/> (дата обращения: 25.05.2022)
2. Barakat S., Cairns G. Environmental Orientation and Corporate Strategy: On the Way to Corporate Sustainability? *Default journal*. 2002. URL: [https://eprints.qut.edu.au/102019/1/\\_\\_qut.edu.au\\_Documents\\_Staff\\_Home\\_StaffGroupR%24\\_rogersjm\\_Desktop\\_ENVIRONMENTAL\\_ORIENTATION\\_AND\\_CORPORATE\\_STRATEGY\\_O.pdf](https://eprints.qut.edu.au/102019/1/__qut.edu.au_Documents_Staff_Home_StaffGroupR%24_rogersjm_Desktop_ENVIRONMENTAL_ORIENTATION_AND_CORPORATE_STRATEGY_O.pdf) (дата обращения: 25.05.2022)
3. Odeku K.O. Acting Responsibly and Promoting Sustainability: Eskom Strategic Initiatives to Reduce Carbon Dioxide Emissions. *Journal of Human Ecology*. 2013. Vol. 43. Iss. 3. P. 237–248. <https://doi.org/10.1080/09709274.2013.11906631>
4. Pyka A., Prettnner K. Economic growth, development, and innovation: The transformation towards a knowledge-based bioeconomy. In: *Bioeconomy*. Springer, Cham, 2018. P. 331–342. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8>
5. Yumashev A., Ślusarczyk B., Kondrashe S., Mikhaylov A. Global indicators of sustainable development: Evaluation of the influence of the human development index on consumption and quality of energy. *Energies*. 2020. Vol. 13. Iss. 11. 2768. <https://doi.org/10.3390/en13112768>
6. Wackernagel M., Lin D., Hanscom L., Galli A., Iha K. Ecological Footprint. *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)*. 2019. Vol. 4. P. 270–282. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09567-1>
7. Van den Dobbelen A., Roggema R., Tillie N., Broersma S., Fremouw M., Martin C.L. Urban energy master-planning – approaches, strategies, and methods for the energy transition in cities. In: *Urban Energy Transition*. Elsevier, 2018. P. 635–660. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102074-6.00045-0>
8. Horak D., Hainoun A., Neugebauer G., Stoeglehner G. A review of spatio-temporal urban energy system modeling for urban decarbonization strategy formulation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 162. 112426. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112426>
9. Ghisolfi V., Tavasszy L. A., Correia G.H.D.A., Chaves G.D.L.D., Ribeiro G.M. Freight Transport Decarbonization: A Systematic Literature Review of System Dynamics Models. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Iss. 6. 3625. <https://doi.org/10.3390/su14063625>
10. Davydenko I., Hopman M., Fransen R., Harmsen J. Mass-Balance Method for Provision of Net Zero Emission Transport Services. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Iss. 10. 6125. <https://doi.org/10.3390/su14106125>
11. Biddau F., Brondi S., Cottone P.F. Unpacking the Psychosocial Dimension of Decarbonization between Change and Stability: A Systematic Review in the Social Science Literature. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Iss. 9. 5308. <https://doi.org/10.3390/su14095308>
12. Bektas A., Nguyen K., Piana V., Schumann R. People-centric policies for decarbonization: Testing psychosocio-economic approaches by an agent-based model of heterogeneous mobility demand. In: *24th Annual Conference on Computing in Economics and Finance*. Milan, Italy. June 19–21, 2018. P. 1–23. <https://doi.org/10.24451/arbor.13916>
13. Devine-Wright P. Energy citizenship: psychological aspects of evolution in sustainable energy technologies. In: *Governing technology for sustainability*. Routledge, 2012. P. 74–97. <https://doi.org/10.4324/9781849771511>
14. Perissi I., Jones A. Investigating European Union Decarbonization Strategies: Evaluating the Pathway to Carbon Neutrality by 2050. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Iss. 8. 4728. <https://doi.org/10.3390/su14084728>
15. Linton S., Clarke A., Tozer L. Strategies and governance for implementing deep decarbonization plans at the local level. *Sustainability*. 2020. Vol. 13. Iss. 1. 154. <https://doi.org/10.3390/su13010154>
16. Göhlich D., Nagel K., Syré A.M., Grahle A., Martins-Turner K., Ewert R., Jefferies D. Integrated approach for the assessment of strategies for the decarbonization of urban traffic. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Iss. 2. 839. <https://doi.org/10.3390/su13020839>

17. Leydesdorff L., Kushnir D., Rafols I. Interactive overlay maps for US patent (USPTO) data based on International Patent Classification (IPC). *Scientometrics*. 2014. Vol. 98. Iss. 3. P. 1583–1599. <https://doi.org/10.1007/s11192-012-0923-2>
18. Nakamura H., Suzuki S., Sakata I., Kajikawa Y. Knowledge combination modeling: The measurement of knowledge similarity between different technological domains. *Technological Forecasting and Social Change*. 2015. Vol. 94. P. 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.09.009>
19. Kay L., Newman N., Youtie J., Porter A. L., Rafols I. Patent overlay mapping: Visualizing technological distance. *Journal of the Association for Information Science and Technology*. 2014. Vol. 65. Iss. 12. P. 2432–2443. <https://doi.org/10.1002/asi.23146>
20. Fleming L. Recombinant Uncertainty in Technological Search. *Management Science*. 2001. Vol. 47. Iss. 1. P. 117–132. <https://doi.org/10.1287/mnsc.47.1.117.10671>
21. Fu K., Chan J., Cagan J., Kotovsky K., Schunn C., Wood K.L. The meaning of “near” and “far”: the impact of structuring design databases and the effect of distance of analogy on design output. *Journal of Mechanical Design*. 2013. Vol. 132. Iss. 2. 021007. <https://doi.org/10.1115/1.4023158>
22. Burkhard B., Crossman N., Nedkov S., Petz K., Alkemade R. Mapping and modelling ecosystem services for science, policy and practice. *Ecosystem Services*. 2013. Vol. 4. P. 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.04.005>
23. Boschma R. Proximity and innovation: a critical assessment. *Regional studies*. 2005. Vol. 39. Iss. 1. P. 61–74. <https://doi.org/10.1080/0034340052000320887>
24. Boschma R., Iammarino S. Related variety, trade linkages, and regional growth in Italy. *Economic geography*. 2009. Vol. 83. Iss. 3. P. 289–311. <https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2009.01034.x>
25. Cantwell J.A., Vertova G. Historical evolution of technological diversification. *Research Policy*. 2003. Vol. 33. Iss. 3. P. 511–529. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2003.10.003>

Статья поступила в редакцию 30.10.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 16.12.2022

*Об авторах:*

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

**Кузьмин Михаил Сергеевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры инноваций и инвестиций;  
Researcher ID: S-7328-2016, Scopus ID: 57208399791

*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 изобретательского пространства.

Кузьмин М. С. – проведение критического анализа публикаций по проблемам декарбонизации; сбор и обработка патентных данных; обоснование выводов по выполненному исследованию.

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

The article was submitted 30.10.2022; approved after reviewing 30.11.2022; accepted for publication 16.12.2022

*About the authors:*

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

**Mikhail S. Kuzmin**, Candidate of Economic Sciences, Associated professor of the Department of Innovation and Investment;  
Researcher ID: S-7328-2016, Scopus ID: 57208399791

*Contribution of the authors:*

Sadriev A. R. – scientific management; development of the concept and methodology of the study; execution of settlement procedures; quantitative and qualitative interpretation of analytical data; identification of the established patterns of development of the inventive space.

Kuzmin M. S. – conducting a critical analysis of publications on the problems of decarbonization; collection and processing of patent data; substantiation of the conclusions of the study.

*All authors have read and approved the final manuscript.*