

**Любимова Наталия Геннадьевна**

д-р экон. наук, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», г. Москва, Российская Федерация

**ORCID:** 0000-0003-4021-4487

**e-mail:** Sebez221@rambler.ru

## ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ «УГЛЕРОДНОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ» В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

**Аннотация.** Парижское соглашение о климате одобрило стратегический курс на достижение «углеродной нейтральности» к 2050 г. В настоящее время весь объем антропогенного выделения  $CO_2$  в России или, по крайней мере, его большая часть поглощается лесами. Основными источниками выбросов  $CO_2$  являются отрасли топливно-энергетического комплекса, в том числе электроэнергетика и транспорт. Введение «углеродного» налога может принести российским производителям большие убытки. Для снижения углеродоемкости производства электроэнергии и сохранения «углеродной нейтральности» в будущем России необходимо наращивать генерацию на атомных, гидроэлектростанциях и других возобновляемых источниках энергии, проводить мероприятия по повышению эффективности сжигания топлива на угольных электростанциях и внедрять более экономичные установки газотурбинного и парогазового оборудования на газовых электростанциях.

**Ключевые слова:** топливно-энергетический комплекс, выделение углекислого газа, диоксид углерода, антропогенный фактор, углеродная нейтральность, углеродный налог, лесной фонд, электроэнергия, электростанции, углеродоемкость производства, экология

**Для цитирования:** Любимова Н.Г. Пути достижения «углеродной нейтральности» в российской электроэнергетике // Вестник университета. 2022. № 1. С. 63–69.

**Natalia G. Lyubimova**

Dr. Sci. (Econ.), State University of Management, Moscow, Russia

**ORCID:** 0000-0003-4021-4487

**e-mail:** Sebez221@rambler.ru

## THE PATHS TO CARBON NEUTRALITY IN THE RUSSIAN ELECTRIC POWER INDUSTRY

**Abstract.** The Paris Climate Agreement has endorsed a strategic course towards “carbon neutrality” by 2050. Currently, all or at least most of the anthropogenic  $CO_2$  emission in Russia is absorbed by forests. The main sources of  $CO_2$  emission are fuel and energy sectors, including the electric power industry and transport. The introduction of a “carbon” tax can cause big losses for Russian manufacturers. To reduce the carbon intensity of electricity production and maintain “carbon neutrality” in the future Russia has to increase generation at nuclear, hydroelectric and other renewable energy sources, take measures to improve the fuel combustion efficiency at coal-fired power plants and introduce more economical gas turbine and combined cycle equipment installations at gas power plants.

**Keywords:** fuel and energy complex, carbon dioxide emission, carbon dioxide, antropogenic factor, carbon neutrality, carbon tax, forest fund, electric power, power plants, carbon intensity of production, ecology

**For citation:** Lyubimova N.G. (2022) The paths to carbon neutrality in the Russian electric power industry. *Vestnik universiteta*, no. 1, pp. 63–69. DOI: 10.26425/1816-4277-2022-1-63-69

### Введение

В Парижском соглашении о климате отмечается, что при нагревании атмосферы Земли более чем на 2 °С, по сравнению с периодом до промышленной революции в XVIII в., населению Земли грозит экологическая катастрофа [1]. Потеплению атмосферы Земли способствует парниковый эффект, который связывают с выбросами в атмосферу углекислого газа ( $CO_2$ ). Мировая общественность предлагает сократить эти выбросы, что возможно посредством внедрения инновационных технологий и источников энергии.

© Любимова Н.Г., 2022.

Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

© Lyubimova N.G., 2022.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Для стимулирования работы промышленности в этом направлении и достижению к 2050 г. «углеродной нейтральности» в Европейском союзе планируют с 2023 г. ввести «углеродный» налог на импортную продукцию [18]. Российские компании при этом могут существенно пострадать. По мнению экспертов, введение подобного налога может привести к потере прибыли промышленных компаний России от 6 до 50 млрд евро в год [12]. В этих условиях встает вопрос о минимизации потерь и поиске путей снижения выбросов в атмосферу углекислого газа, тем более, что Россия по данным BP Statistical Review of World Energy (далее – ВР) в рейтинге по выбросам углекислого газа (1 619 млн т углекислого газа только за 2020 г., что составляет 4,6 % суммарных выбросов во всем мире) находится на 4 месте после Китая, США и Индии [10]. Очевидно, достичь снижения выбросов углекислого газа только одним способом не получится, нужен комплексный подход в отношении каждого источника загрязнений.

### **Постановка проблемы**

Основными источниками антропогенного выделения углекислого газа в России являются отрасли топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК), в том числе электроэнергетика, и транспорт [3]. В России производство 1 кВт·ч электроэнергии сопровождается в среднем выделением 510–520 г углекислого газа, следовательно, на все производство электроэнергии в 2020 г. приходится около 540 млн т углекислого газа, то есть почти треть всех выбросов в России, а к 2035 г. эта величина достигнет 650 млн т, при том что углеродоемкость мировой энергетики к этому периоду предполагает снижение в 3 раза с 490 г. до 140 г. углекислого газа на 1 кВт·ч [9].

Учитывая сложившиеся обстоятельства, перед электроэнергетикой России необходимо поставить задачу существенного снижения углеродоемкости производства посредством более широкого использования атомной генерации и возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ), внедрения «факельных» технологий сжигания угля с супер- и ультрасверхкритическими параметрами пара, а также газотурбинных и парогазовых установок с существенно большим к.п.д., чем основной парк паросилового оборудования. Следует отметить, что источники, количество выбросов углекислого газа и меры по их нейтрализации существенно дифференцированы по регионам страны.

### **Литературный обзор**

Основную роль поглотителей углекислого газа на Земле играют леса. Леса покрывают почти третью часть суши на Земле. Более половины (54 %) лесов приходятся на 5 стран: Россию, Бразилию, Канаду, США и Китай. В России лесами занято 815 млн га [8]. По данным экспертов Рослесинфорга 2,5 га леса России в течение года поглощают 1 т углерода, следовательно, в целом по стране лесами поглощается 326 млн т углерода [8].

Однако при оценке поглощающей способности лесов учитываются не все леса. По данным Национального кадастра парниковых газов, учитываются только леса, подпадающие под определение «управляемых» лесов, т. е. исключая леса, которыми зарастают земли сельскохозяйственного назначения, защитные и резервные леса, перестойные леса (по данным Государственного лесного реестра России прирост древесины в перестойных лесах в год составляет до 80 млн м<sup>3</sup>), лесные питомники и пр. [12]. В Национальном кадастре учитывается примерно 660 млн га лесов Российской Федерации, которые считаются «управляемыми», следовательно, можно считать, что лесами поглощается только 264 млн т углерода [7]. По мнению многих экспертов, данные Национального кадастра парниковых газов не полностью учитывают поглощение лесами России углерода и завышают его потери [8].

По данным экспертов Рослесинфорга, леса и все лесные культуры России способны поглощать 395 млн т углекислого газа, то есть более 1,5 млрд т CO<sub>2</sub>[21]. Исследования на карбоновых полигонах, которые проводятся с учетом не только лесных земель, но и лугов, болот и прочих видов рельефа, дали еще более оптимистичные данные [5]. Ученые обнаружили поглощение до 7 т углерода одним гектаром поверхности, тогда только за счет площадей, занятых лесом, поглощение углерода составит более 4,5 млрд т. При чем, себестоимость поглощения 1 т углерода составляет 207 руб. [21].

Согласно данным Аналитического центра при правительстве России, за год наша страна выделяет в атмосферу более 1,5 млрд т углекислого газа [21]. Следовательно, при отсутствии единой точки зрения

на способности лесов к поглощению углекислого газа, можно предположить с большой долей вероятности, что леса и вся прочая растительность России способны поглотить, если не весь выделяемый промышленностью и транспортом углекислый газ, то большую его часть при достигнутом уровне развития промышленного производства.

При этом возникает вопрос: если сегодня леса и растительность России обеспечивают «углеродную нейтральность», то смогут ли они обеспечивать ее в будущем, когда произойдет расширение промышленного производства? При ответе на этот вопрос следует иметь в виду, что можно существенно увеличить интенсивность поглощения углекислого газа, замещая взрослые леса молодыми деревьями [6]. Исследования показали, что молодые насаждения лучше улавливают углекислый газ из атмосферы [5]. Кроме того, надо учитывать, что наибольшими поглотителями углерода в России являются: дуб, лиственница, сосна и ель, то есть как раз, те породы деревьев, которые в наибольшей степени распространены по территории России [5; 12]. Однако на Западе не хотят считаться с этими фактами и требуют от России существенного сокращения антропогенного выделения углекислого газа.

### Основные результаты

В отношении электроэнергетики, президент России – В.В. Путин не раз подчеркивал, что Россия производит самую «чистую» электроэнергию в мире. На долю «чистой» электроэнергетики России приходится по разным оценкам до 86,5 % всей производимой в России электроэнергии, в том числе атомной энергии – 20,5%, гидроэнергии – 19,8 %, энергии, произведенной на прочих видах ВИЭ, включая ветровой и солнечной – 0,3 %, энергии, вырабатываемой при сжигании газа – 45,8 % [15].

Выбросы загрязняющих веществ при сжигании 1 тонны условного газа существенно меньше, чем при сжигании угля и мазута. Максимальное значение выбросов оксида углерода (СО) при сжигании газообразного топлива не превышает 50 мг/м<sup>3</sup>, что значительно ниже нормативных значений (300 мг/м<sup>3</sup>) [17]. Кроме того, более 50 МВт мощности тепловых электростанций (21,1 % от установленной мощности тепловых электростанций Единой энергетической системы России (далее – ЕЭС России)) приходится на газотурбинные и парогазовые установки с к.п.д. от 46–56 % [3]. В перспективе планируется доведение к.п.д. этих установок до 66 %, а также существенное увеличение количества и мощности подобных установок, чему не в малой степени способствует реализация Программы модернизации оборудования теплоэлектростанций, рассчитанной на 10 лет.

Наибольшим источником углекислого газа в электроэнергетике считается уголь. На долю угольной генерации по данным Системного оператора за 2020 г приходилось 13,5 % всей установленной мощности ЕЭС России, в перспективе ее доля будет неуклонно снижаться [3]. К настоящему времени угольное оборудование электростанций России работает на докритических и сверхкритических параметрах пара, с к.п.д. 34–38 % [4]. Хотя известно, что повышение к.п.д. угольных станций на 1 % снижает выбросы загрязняющих веществ в виде SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и твердых частиц на 2 % [8; 11]. Таким образом, повышение эффективности энергоустановок приводит к уменьшению удельного расхода топлива и, соответственно, выбросов углекислого газа в атмосферу.

«Энергетической стратегией России до 2030 г.» планируется внедрение новых «факельных» технологий сжигания угля на супер- и ультрасверхкритических параметрах пара, которые существенно повышают к.п.д. угольной генерации с 40 % до 48 %, а далее до 50 % и выше, и снижают выбросы углекислого газа в окружающую среду [2; 4] (табл. 1).

Таблица 1

Ступени «факельных» технологий сжигания угля

Параметр	Давление, МПа	Температура, °С	Тепловой к.п.д.
Докритические	менее 22,4	374	20–38
Сверхкритические	23,5–24,7	540–593	40–41
Суперсверхкритические	28–30	593–620	43–46
Ультрасверхкритические	35	700–720	51–53

Источник: [4]

Существуют и другие технологии приготовления и сжигания угля, например, предварительная газификация угля, в том числе подземная с последующим направлением газификатора в парогазовый цикл производства электроэнергии, или приготовление кавитационного водоугольного топлива (далее – КаВУТ). КаВУТ топливо характеризуется высоким уровнем динамического компрессионного и температурного воздействия на обрабатываемый материал (до 2 000 °С и 25 000 атм) с последующим сжиганием его в кипящем слое. Эти технологии способствуют высокой степени выгорания угля и низкой генерации выбросов [13; 22]. Однако все они, как и некоторые «факельные» технологии, пока в России не освоены в должной степени. В частности, утверждения о достоинствах КаВУТ и двухступенчатой схемы его сжигания, предполагающей сжигание в кипящем слое, основываются на проектных проработках, конструкторских расчетах и опытах по стендовому сжиганию водоугольного топлива [13]. Следовательно, ожидать, что эти технологии будут в ближайшем времени широко представлены в России, не приходится, как не приходится и надеяться на их существенное влияние на снижение углеродоемкости производства электроэнергии.

При этом не следует забывать, что на территории России сосредоточено около 9 % мировых запасов гидроэнергии. По обеспеченности гидроэнергетическими ресурсами Россия занимает второе место в мире, после КНР. При этом степень освоенности гидроэнергетического потенциала нашей страны составляет только около 20 %, что намного меньше показателей развитых стран [2]. Дальнейшее использование гидроэнергетического потенциала предполагает строительство мощных ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке, а также малых ГЭС в Европейской части России, что позволит увеличить выработку возобновляемой электроэнергии, повысить надежность и «чистоту» энергоснабжения, а также обеспечить значительный положительный мультипликативный эффект в смежных отраслях.

Кроме того, в России предполагается бурное развитие и других ВИЭ, особенно ветровых и солнечных электростанций. По мнению, многих экспертов, доля указанных источников энергии в энергобалансе России к 2035 г. должна возрасти до 5–6 %, так как планируется ввести порядка 15–16 ГВт мощностей возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электроэнергии и мощности и еще около 2 ГВт на розничном рынке электроэнергии (мощности) и в микрогенерации, а к 2040 г. их доля может достичь 10 % [20]. Тем более, что в последние годы из-за использования новых технологий и материалов, стоимость выработки 1 кВт·ч энергии на таких источниках существенно снизилась. Средними ценами отбора мощности на ВИЭ на 2023–2027 гг., по данным Совета рынка, стали: 2 700 руб. за 1 МВт·ч для ветровых электростанций (минимальная цена была 2 200 руб. за 1 МВт·ч) и 5 200 руб. за 1 МВт·ч для солнечных (минимальная цена 4 500 руб. за 1 МВт·ч). Таким образом, некоторые заявки на ВИЭ оказались даже ниже текущей средней оптовой одноставочной цены электроэнергии в первой ценовой зоне (Центральная Россия и Урал), составляющей порядка 2 600 руб. за 1 МВт·ч [20].

Конечно, осваиваются и другие виды альтернативной энергетики, основанные на энергии Земли, приливов, биомассы, но надо учитывать, что широкое распространение генерации на ВИЭ можно достичь только в совокупности с развитием производства аккумуляторов промышленного значения, иначе непостоянные режимы ее работы будет трудно совместить с режимами работы других источников энергии в рамках ЕЭС России. Работа в этом направлении в отрасли активно ведется.

Дальнейшее развитие ждет и атомную генерацию. Несмотря на значительные риски, связанные с радиацией, большинство стран восстанавливают и развивают атомную энергетику. В рамках одобренной Евросоюзом в 2019 г. стратегии экономического развития, направленной на достижение «углеродной нейтральности» к 2050 г., странам – членам Евросоюза разрешается использование атомной генерации в качестве первичной энергии в приходной части национальных энергобалансов.

В обзоре Аналитического центра при правительстве РФ прямо указано на развитие атомной энергетики, как низкоуглеродной и перспективной, с точки зрения климатической политики, принятой Парижским соглашением. На сегодня атомная энергетика России занимает 4 место в мире по выработке электроэнергии после США, Франции и Китая [21].

В мировом энергобалансе в 2019 г. по данным ВР, доля атомной энергии составила 4,3 %, а в выработке электроэнергии – 10,4 %. При этом уровень выработки электроэнергии 2010 г. был превышен в мире впервые после аварии на АЭС в Японии в 2011 г. только в 2019 г. [16]. В случае реализации сценария «углеродной нейтральности» к 2050 г. в странах Евросоюза и США выработка электроэнергии на АЭС должна существенно вырасти.

По данным Всемирной ядерной ассоциации на сентябрь 2020 г., количество действующих ядерных энергоблоков в мире составило 441 ед., их общая установленная мощность – 391,7 ГВт, и строятся еще 53 реактора суммарной мощностью 59,2 ГВт, из которых 12 реакторов – в Китае, 7 – в Индии, 4 – в России [16].

В целом Международное энергетическое агентство прогнозирует прирост атомной генерации по миру, по сравнению с уровнем 2018 г., на 28–62 % к 2040 г. и на 50–100 % к 2070 г. [16].

Значительный потенциал имеет и водородная энергетика, ожидается что к 2060г. она станет одним из главных элементов системы обеспечения «углеродной нейтральности» в мире, но пока Правительство РФ совместно с ПАО «Газпром» только объединяют усилия по ускорению развития водородных технологий и созданию пилотных проектов [14].

## Обсуждение результатов

Россия располагает достаточным количеством мер по существенному снижению углеродоемкости производства электроэнергии и сохранению «углеродной нейтральности» к 2050 г. [19]. Учитывая в целом достижимость Россией «углеродной нейтральности», тем не менее, с учетом расположения источников загрязнения и поглощающей способности лесов специалисты установили 7 критических регионов России, такими регионами являются: Ростовская, Волгоградская, Рязанская и Магаданская области, Ненецкий и Чукотский автономные округа и Республика Тыва [5]. Выделение данных регионов, в первую очередь, обусловлено наличием тундровой и лесостепной зон на отдельных территориях страны.

Развитие электроэнергетики чутко реагирует на сложившуюся экологическую обстановку в регионах. Так, в Волгоградской области строится крупный ветропарк, в Ростовской области расширяется Ростовская АЭС, в Рязанской области угольная электростанция постоянно повышает параметры работы пара, по всей Европейской части России активно вводятся газотурбинные и парогазовые установки, в Сибири и на Дальнем Востоке строятся мощные ГЭС и солнечные электростанции, а угольные электростанции планируют проведение модернизации с переходом на новые «факельные» технологии сжигания угля.

## Выводы

1. Россия обладает основной долей лесов на планете, которые сегодня поглощают, по различным оценкам, от существенной доли до всех антропогенных выбросов углекислого газа в России.

2. Развитие гидроэнергетики и других отраслей возобновляемой и атомной энергетики, а также повышение эффективности угольной и газовой энергетики будут способствовать снижению углеродоемкости производства электроэнергии как в целом по стране, так и в отдельных ее регионах.

3. Снижение углеродоемкости производства электроэнергии будет существенно сокращать убытки России от возможного введения Европейским союзом «углеродного» налога на импорт продукции и обеспечит сохранение «углеродной нейтральности» при расширении промышленного производства к 2050 г.

## Заключение

Таким образом, Россия обладает необходимыми возможностями для достижения и сохранения «углеродной нейтральности» как сейчас, так и в будущем.

### Библиографический список

1. Парижское соглашение / ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://unfccc.int/sites/default/files/russian\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf) (дата обращения: 18.11.2021).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902187046> (дата обращения: 18.11.2021).
3. Афанасьев, В. Я., Грабчак, Е. П., Мищеряков, С. В. Современные технологии управления в электроэнергетике: монография. – М.: Де Либри, 2021. – 358 с.
4. Краснянский, Г. Л., Зайденварг, В. Е., Ковальчук, А. Б. [и др.]. Уголь в экономике России: монография / под общ. ред. Г. Л. Краснянского. – М.: Экономика, 2011. – 383 с.

5. Ольчев, А. В., Авилов, В. К., Байбар, А. С. [и др.]. Леса европейской территории России в условиях меняющегося климата: монография / под ред. А.В. Ольчева. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. – 267 с.
6. Панкратов, В. К. Необходимость проведения рубок ухода в вязовых насаждениях с целью омоложения. – Леса России и хозяйство в них. – 2021. – № 2 (77). – С. 35–41. <https://doi.org/10.51318/FRET.2021.49.75.004>
7. Суворов, Г. Г. Изменение потоков CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и запасов углеродов лесоболотной экосистемы в результате добычи торфа и сельскохозяйственного использования: Дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 – М.: Институт лесоведения РАН РФ, 2018. – 128 с.
8. Филипчук, А. Н., Малышева, Н. В., Моисеев, Б. Н., Страхов, В. В. Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохозяйственная информация. – 2016. – № 3. – С. 36–85.
9. Вавина, Е. Углеродный след российской электроэнергетики может в 3,5 раза превысить средний по миру // Ведомости. – 2019. – 5 сентября 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2019/09/04/810498-uglerodnii> (дата обращения: 19.11.2021).
10. Вержанский, А. П. О программе экологизации угольной генерации Российской Федерации. Доклад на круглом столе Комитета по энергетике Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации 06.09.2017 // Горнопромышленники России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://rosgorprom.com/files/New%20informations/09.06.2017\\_Verzhanskiy.pdf](http://rosgorprom.com/files/New%20informations/09.06.2017_Verzhanskiy.pdf) (дата обращения: 11.11.2021).
11. Выбросы CO<sub>2</sub> от сжигания топлива // Мировая энергетическая статистика Enerdata [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/co2/emissions-co2-data-from-fuel-combustion.html> (дата обращения: 19.11.2021).
12. Дуэль, А. Углеродный след идет лесом. Во сколько обходится поглощение одной тонны CO<sub>2</sub> деревьями // Российская газета. – 2021. – № 93 (8444). – 27 апреля.
13. Карпов, Е. Водоугольное топливо – технология будущего // Энергетика и промышленность России. – 2007. – № 5 (81). – май [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/epr/81/5751.htm> (дата обращения: 14.11.2021).
14. Кучеренко, Т. Водородная энергетика России: планы по финансированию // Вести. – 2021. – 16 октября 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vesti.ru/article/2626883/> (дата обращения: 14.11.2021).
15. Отчет о функционировании ЕЭС России за 2020 г. // Системный оператор Единой Энергетической Системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups\\_rep2020.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf) (дата обращения: 19.11.2021).
16. Перспективы развития мировой атомной энергетики связаны с климатическими целями // Газета «Энергетика и промышленность России» от 29.10.2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eprussia.ru/news/base/2020/3962253.htm> (дата обращения: 19.11.2021).
17. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 38-2017. – М.: Бюро НДТ, 2017. – 271 с.
18. Тихонов, С. Решетников: Нужна актуализация данных о поглощении CO<sub>2</sub> нашими лесами // Российская газета – 2021. – 26 апреля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2021/04/26/reshetnikov-nuzhna-aktualizaciia-dannyh-oro-gloshchenii-co2-nashimi-lesami.html> (дата обращения: 19.11.2021).
19. Филипчук, А. Как Росгидромет «отстоял» леса России в Парижском соглашении по климату // Информационное агентство Regnum. – 2016. – 11 ноября [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://regnum-ru.turbopages.org/regnum.ru/s/news/2203928.html> (дата обращения: 19.11.2021).
20. Цена на аукционе ветровой энергии в России оказалась самой низкой в мире // РБК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/business/22/09/2021/614b12e89a794762e94db190> (дата обращения: 19.11.2021).
21. Экология и экономика. Тенденции к декарбонизации // Аналитический центр при правительстве РФ. – Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. – 2020. – Вып. 66. – октябрь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/\\_%D0%BE%D0%BA%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C\\_web.pdf](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_%D0%BE%D0%BA%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C_web.pdf) (дата обращения: 19.11.2021).
22. HELE Perspectives for Selected Asian Countries // The Coal Hub [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://thecoalhub.com/wp-content/uploads/2018/09/> (дата обращения: 19.11.2021).

## References

1. Paris Agreement, *UN*. Available at: [https://unfccc.int/sites/default/files/russian\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf) (accessed 18.11.2021).
2. Order of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009, No. 1715-р “On Approval of the Energy Strategy of Russia for the Period up to 2030”, *Electronic Collection of Legal, Regulatory, and Technical Documents*. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902187046> (accessed 18.11.2021).
3. Afanasyev V. Ya., Grabchak E. P., Mishcheryakov S. V. *Modern management technologies in the electric power industry: monograph*, Moscow, De Libri, 2021, 358 p. (In Russian).
4. Krasnyansky G. L., Zaidenvarg V. E., Kovalchuk A. B. [et al]. *Coal in the Russian economy: monograph*, gen. ed. G. L. Krasnyansky, Moscow, Ekonomika, 2011, 383 p. (In Russian).
5. Olchev A. V., Avilov V. K., Baibar A. S. [et al]. *Forests of the European territory of Russia in a changing climate: monograph*, ed. A.V. Olchev, Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2017, 267 p. (In Russian).
6. Pankratov V. K. The need for cutting care in elm stands for the purpose of rejuvenation, *Lesa Rossii i khozyaistvo v nikh*, 2021, no. 2 (77), pp. 35–41. <https://doi.org/10.51318/FRET.2021.49.75.004>
7. Suvorov G. G. *Changes in the fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and carbon stocks of the forest bog ecosystem as a result of peat extraction and agricultural use*: Dissertation of Candidate of Biological Sciences: 03.02.08, Moscow, Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences of the Russian Federation, 2018, 128 p. (In Russian).
8. Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Moiseev B. N., Strakhov V. V. Analytical overview of methodologies calculating missions and absorption of greenhouse gases by forests from the atmosphere, *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2016, no. 3, pp. 36–85. (In Russian).
9. Vavina E. The carbon footprint of the Russian electric power industry could be 3.5 times higher than the world average, *Vedomosti*, 2019, September 5. Available at: <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2019/09/04/810498-uglerodnii> (accessed 19.11.2021).
10. Verzhanskiy A. P. On the Program of Greening of Coal Generation of the Russian Federation. Report at the Round Table of the Energy Committee of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation on September 6, 2017, *Miners of Russia*. Available at: [http://rosgorprom.com/files/New%20informations/09.06.2017\\_Verzhanskiy.pdf](http://rosgorprom.com/files/New%20informations/09.06.2017_Verzhanskiy.pdf) (accessed 11.11.2021).
11. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, *Global Energy Statistics Enerdata*. Available at: <https://yearbook.enerdata.ru/co2/emissions-co2-data-from-fuel-combustion.html> (accessed 19.11.2021).
12. Duel A. The carbon footprint goes with the forest. How much does it cost for trees to absorb one tonne of CO<sub>2</sub>, *Rossiiskaya gazeta*, 2021, No. 93 (8444), April 27.
13. Karpov E. Coal-water fuel is the technology of the future, Newspaper “*Power and Industry of Russia*”, 2007, № 5 (81), May. Available at: <https://www.eprussia.ru/epr/81/5751.htm> (accessed 14.11.2021).
14. Kucherenko T. Hydrogen energy in Russia: plans for financing, *Vesti*, 2021, October 16. Available at: <https://www.vesti.ru/article/2626883/> (accessed 14.11.2021).
15. Report on the Functioning of the UES of Russia for 2020, *Russian Power System Operator*. Available at: [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups\\_rep2020.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf) (accessed 19.11.2021).
16. Prospects for the development of the world nuclear energy are related to climatic goals, Newspaper “*Power and Industry of Russia*”, October 29, 2020. Available at: <https://www.eprussia.ru/news/base/2020/3962253.htm> (accessed 19.11.2021).
17. Combustion of fuels in large installations for energy production purposes. Federal Agency on Technical Regulating and Metrology, *Information Technology Guide to the Best Available Technology ITS 38-2017*, Moscow, Bureau of BAT, 2017, 271 p. (In Russian).
18. Tikhonov S. Reshetnikov: We need an update on the CO<sub>2</sub> uptake of our forests, *Rossiiskaya gazeta*, 2021, April 26. Available at: <https://rg.ru/2021/04/26/reshetnikov-nuzhna-aktualizaciia-dannyh-o-pogloshchenii-co2-nashimi-lesami.html> (accessed 19.11.2021).
19. Filipchuk A. How Roshydromet “defended” Russia’s forests in the Paris Climate Agreement, *Regnum News Agency*, 2016, November 11, 2016. Available at: <https://regnum-ru.turbopages.org/regnum.ru/s/news/2203928.html> (accessed 19.11.2021).
20. The price at the auction of wind energy in Russia was the lowest in the world, *RBC*. Available at: <https://www.rbc.ru/business/22/09/2021/614b12e89a794762e94db190> (accessed 19.11.2021).
21. Ecology and Economics. Decarbonisation Trends, *Analytical Center for the Government of the Russian Federation*, Bulletin on Current Tendencies in Russian Economy, 2020, Is. 66, October. Available at: [https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/\\_%D0%BE%D0%BA%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C\\_web.pdf](https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/BRE/_%D0%BE%D0%BA%D1%82%D1%8F%D0%B1%D1%80%D1%8C_web.pdf) (accessed 19.11.2021).
22. HELE Perspectives for Selected Asian Countries, *The Coal Hub*. Available at: <https://thecoalhub.com/wp-content/uploads/2018/09/> (accessed 19.11.2021).