



## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ РАЗВИТИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**Двинин Д. Ю. ORCID ID 0000-0002-9451-4445,**

**Плаксина А. Л. ORCID ID 0000-0003-4894-7407,**

**Шейко Н. С. ORCID ID 0009-0002-5211-9241**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет», Челябинск, Российская Федерация,  
e-mail: dvinin1981@mail.ru*

В процессе исследования была проведена оценка изменения эколого-экономической ситуации в Челябинской области при условии развития возобновляемых источников энергии. Работа осуществлялась с использованием трех методик: методики по оценке региональной социо-эколого-экономической среды с использованием эколого-энергетических характеристик территорий, методики по оценке уровня эмиссии парниковых газов в результате деятельности энергетических объектов предложенной международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) и методики по выявлению изменений в материально-энергетических потоках, выраженных в суммарных MI (Material Input) – числах. В результате было установлено, что за последние годы углеродная эффективность и материальная интенсивность существующей энергетики региона улучшилась, удельная эмиссия углекислого газа уменьшилась до 0,51 кг/кВт·ч, а материальная интенсивность – до 1,49 кг/кВт·ч. Однако данный процесс связан с изменением топливного баланса, в котором значительно уменьшилась доля угля и увеличилась доля природного газа. При этом доля возобновляемых источников энергии в настоящем энергобалансе Челябинской области крайне низка и составляет всего 0,006 %. Существующие прогнозы позволяют предположить увеличение их доли до 3 % в 2035 г. и 11,5 % в 2050 г. В этом случае общая эмиссия углекислого газа в результате выработки электроэнергии сократится соответственно на 0,47 млн и 2,11 млн т, а общая материальная интенсивность уменьшится на 1,36 млн и 6,16 млн т. При этом полная социо-эколого-экономическая сбалансированность региона не будет достигнута, она потребует увеличения доли возобновляемой энергии в энергобалансе в 93 %. При таком сценарии эмиссия углекислого газа сократится на 17,06 млн т, а общая материальная интенсивность уменьшится на 49,85 млн т.

**Ключевые слова:** эколого-экономическая оценка, возобновляемая энергетика, углеродная эффективность, материальная интенсивность, прогноз, регион, Челябинская область

## ASSESSMENT OF CHANGES IN THE ECOLOGICAL AND ECONOMIC SITUATION IN THE CHELYABINSK REGION DURING THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Dvinin D. Yu. ORCID ID 0000-0002-9451-4445,**

**Plaksina A. L. ORCID ID 0000-0003-4894-7407,**

**Sheyko N. S. ORCID ID 0009-0002-5211-9241**

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“Chelyabinsk State University”, Chelyabinsk, Russian Federation,  
e-mail: dvinin1981@mail.ru*

In the course of the study, an assessment was made of changes in the ecological and economic situation in the Chelyabinsk region under the condition of the development of renewable energy sources. The work was carried out using three methods: a methodology for assessing the regional socio-ecological and economic environment using the ecological and energy characteristics of territories, a methodology for assessing greenhouse gas emissions from energy facilities proposed by the International Panel on Climate Change (IPCC) and a methodology for identifying changes in material and energy flows expressed in total MI (Material Input) – numbers. As a result, it was found that in recent years, the carbon efficiency and material intensity of the existing energy sector in the region have improved, the specific carbon dioxide emission has decreased to 0.51 kg/kWh, and the material intensity to 1.49 kg/kWh. However, this process is associated with a change in the fuel balance, in which the share of coal has significantly decreased and natural gas has increased. At the same time, the share of renewable energy sources in the current energy balance of the Chelyabinsk region is extremely low and amounts to only 0.006 %. Existing forecasts suggest an increase in their share to 3 % in 2035 and 11.5 % in 2050. In this case, the total carbon dioxide emissions resulting from electricity generation will decrease by 0.47 million tons and 2.11 million tons, respectively, and the total material intensity will decrease by 1.36 million tons and 6.16 million tons. At the same time, a complete socio-ecological and economic balance of the region will not be achieved, it will require an increase in the share of renewable energy in the energy mix by 93 %. In this scenario, carbon dioxide emissions will decrease by 17.06 million tons, and the total material intensity will decrease by 49.85 million tons.

**Keywords:** ecological and economic assessment, renewable energy, carbon efficiency, material intensity, forecast, region, Chelyabinsk region

## Введение

Противодействие климатическим изменениям привело в последние годы к стремительному развитию в мире возобновляемых источников энергии. В 2023 г. их совокупная энергомощность составила 4,014 ТВт из 8,517 ТВт, достигнув 47,1 %, а общая годовая выработка в 8,44 трлн кВт·ч из 28,32 трлн кВт·ч составила 29,8 %<sup>1</sup>. Подобные результаты были достигнуты, поскольку во многих странах мира приняты стратегии по долгосрочному развитию возобновляемой энергетики [1]. Крупнейшие экономики мира к настоящему времени объявили о перспективе достижения углеродной нейтральности: Европейский союз к 2050 г., США и Китай – к 2060 г. Согласно Указу Президента Российской Федерации (2020 г.) «О сокращении выбросов парниковых газов», их эмиссия должна снизиться на 70 % от уровня 1990 г. [2]. Предполагается, что реализация указанных стратегий позволит в течение XXI в. существенно снизить выбросы парниковых газов и достигнуть цели установленной в 2015 г. Парижским климатическим соглашением по удержанию роста средней глобальной температуры ниже 2 °С [3].

Особо следует отметить, что развитие возобновляемых источников энергии приведет не только к уменьшению эмиссии парниковых газов, но и позволит в целом снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду. Традиционная энергетика, использующая ископаемое топливо, характеризуется значительными выбросами в атмосферу и высокой ресурсоемкостью, что непосредственно влияет на состояние природных комплексов и социально-экономическую ситуацию в регионах. При этом сами выбросы и сбросы загрязняющих веществ являются лишь следствием изменения существующих биосферных материально-энергетических потоков в процессе хозяйственной деятельности. В результате природные комплексы начинают терять возможность генерировать экосистемные функции, в конечном счете это оказывает существенное влияние на эколого-экономическую ситуацию в регионах [4]. Поэтому необходимо заранее оценить и спрогнозировать изменение региональной эколого-экономической ситуации при развитии различных источников возобновляемой энергетики, это позволит выбрать наиболее оптимальный сценарий их внедрения.

<sup>1</sup> EES EEAEC. World energy. Statistics. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eeseaec.org/energeticeskaa-statistika> (дата обращения: 04.04.2026).

Челябинская область является регионом с развитой промышленной базой, обуславливающей высокий уровень экологического воздействия, в связи с чем сразу два крупнейших города региона, Челябинск и Магнитогорск, с 2018 г. участвуют в федеральной программе «Чистый воздух» [5]. Одним из мощнейших источников антропогенного загрязнения в области является тепловая энергетика. Поэтому была выдвинута гипотеза, что развитие возобновляемой энергетики позволит значительно изменить экологическую ситуацию в благоприятную сторону.

**Цель исследования** – оценить изменение эколого-экономической ситуации в Челябинской области при различных сценариях развития возобновляемых источников энергии.

## Материалы и методы исследования

Исследование основано на использовании трех методик, позволяющих комплексно оценить изменение эколого-экономических условий по мере увеличения доли возобновляемой энергетики в региональном энергобалансе: методики по оценке региональной социо-эколого-экономической среды с использованием эколого-энергетических характеристик территорий, методики по выявлению изменений в материально-энергетических потоках выраженных в суммарных MI (Material Input) – числа и методики по оценке изменения уровня эмиссии парниковых газов при развитии возобновляемой источников энергии основанной на методологии МГЭИК (Международной группы экспертов по изменению климата).

Сбалансированность социо-эколого-экономической среды региона определяется соотношением величины ассимиляционного потенциала региональных экосистем с мощностью техносферы региона выраженной в энергетических показателях. Это позволяет получить специальный показатель сбалансированного состояния, он оценивает величину возможного превышения техносферой уровня восстановительных возможностей природных комплексов [6]. При оценке изменения эколого-экономической ситуации в регионе в результате развития возобновляемой энергетики следует учесть следующий момент: энергетика, использующая ископаемое топливо, существенно меняет биосферные материально-энергетические потоки, переключая их в техносферу. При этом возобновляемые источники энергетики опираются на использование потоков, уже циркулирующих в экосистемах и преимущественно связанных с трансформацией солнечной энергии [7].

Исходя из этого, за основу исследования взято положение, что их использование практически не оказывает влияния на действующие процессы в природе. Поэтому в методике по оценке изменения уровня региональной сбалансированности предварительно из мощности техносферы (хозяйства) региона, выраженной в энергетических величинах и фактически характеризующей уровень потребления энергии регионом, предварительно вычиталась доля, приходящаяся на возобновляемые источники энергии в различных сценариях развития региона. Расчеты осуществлялись по данной формуле:

$$S_{rx} = \frac{T_r - T_{rv}}{L_r}, \quad (1)$$

где  $S_{rx}$  – показатель сбалансированного/не сбалансированного состояния региона при различных сценариях развития возобновляемой энергетики в регионе, если он меньше или равен единице, социо-эколого-экономическая среда региона сбалансирована, в ином случае возникают дисбалансы приводящие в последствии к деградации региональных экосистем.;  $T_r$  – мощность техносферы (хозяйства) региона выраженная в энергетических величинах;  $T_{rv}$  – доля из энергомощности техносферы (хозяйства) региона приходящаяся на возобновляемые источники энергии;  $L_r$  – ассимиляционный потенциал региональных ландшафтов выраженный в энергетических величинах.

Сама величина  $L_r$  рассчитывается по следующей формуле [8]:

$$L_r = B \sum_{i=1}^6 \frac{S_i^r}{S_i} k_i, \quad (2)$$

где  $B$  – ассимиляционная емкость биосферы способная нейтрализовать последствия деятельности техносферы ( $1,5 \text{ ТВт} = 1,5 \cdot 10^{12} \text{ Вт}$  [9]);  $S_{1-6}$  – земные площади, занимаемые соответственно хвойными, лиственными лесами, аграрными, прочими лесными и нелесными территориями, акваториями внутренних водоемов;  $S_i^r$  – площади занимаемые данными природными комплексами в изучаемом регионе;  $k_i$  – коэффициент характеризующий уровень вклада природного комплекса в ассимиляционный потенциал.

Изменение уровня влияния энергетики, по мере развития возобновляемых источников, на биосферные материально-энергетические потоки осуществлялось с помощью методики основанной на суммарных МІ (Material Input) – числах. Они позволяют оценить общий материальный вход на про-

изводство единицы продукции, фактически выявить ее материальную интенсивность. В дальнейшем это дает возможность соотнести материальную интенсивность с негативным антропогенным влиянием на природные комплексы. Удельная материальная интенсивность для различных энергоисточников представлена в отчете Wuppertal Institut (Германия) [10] а также установлена в более ранних исследованиях авторов [9]. Удельная величина материальной интенсивности возобновляемых и невозобновляемых источников энергии оценивалась в кг/кВт·ч, далее, на основании данных о совокупном региональном энергопотреблении, переводилась в общую величину сокращения материального потребления в регионе в миллионах тонн.

Оценка уменьшения уровня эмиссии парниковых газов осуществлялась на основе методики МГЭИК (Межправительственной группы экспертов по изменению климата)<sup>2</sup>. Дополнительно использовались собственные расчетные данные. Указанная методика позволяет оценить выбросы парниковых газов, если есть информационные данные об объемах сжигания углеродосодержащего топлива при производстве электроэнергии. Все установленные парниковые газы для удобства сопоставления в дальнейшем переводятся в эквивалентную величину  $\text{CO}_2$ , для этой цели используются коэффициенты уровня парникового эффекта. Удельная величина эмиссии от различных энергоисточников в основном зависит от уровня содержания углерода в применяемом топливе. Некоторое влияние оказывают используемые технологии получения энергии.

Расчет удельной величины (кг/кВт·ч) осуществляется по следующей формуле:

$$E_{\text{CO}_2} = T_i \times K_{\text{CO}_2}, \quad (3)$$

где  $E_{\text{CO}_2}$  – удельная величина эмиссии  $\text{CO}_2$ ;  $T_i$  – коэффициент из методики МГЭИК, учитывающий используемую технологию получения энергии;  $K_{\text{CO}_2}$  – коэффициент, учитывающий содержание углерода в применяемом топливе.

После получения удельных величин рассчитывался общий уровень изменения эмиссии углекислого газа (млн т) при различных сценариях развития возобновляемых источников энергии в регионе.

### Результаты исследования и их обсуждение

Челябинская область является развитым промышленным регионом, где доминирует

<sup>2</sup> IPCC Guidelines. Методологические руководящие принципы МГЭИК. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (дата обращения: 22.04.2026).

черная металлургия, составляя 56 % в отраслевой структуре<sup>3</sup>. Также в регионе широко представлены машиностроительные предприятия, цветной металлургии и горно-рудные. Энергетика представлена тепловыми электростанциями, в топливном балансе которых доля природного газа составляет 74 %, а доля угля 26 %<sup>4</sup>. Низкоуглеродная энергетика в Челябинской области в настоящее время не имеет значимой доли в общем энергобалансе (0,006 %), единственная энергоустановка которая может быть к ней отнесена – малая и устаревшая Верхнеуральская гидроэлектростанция мощностью 1МВт сооруженная в 1960-х гг. Указанная ситуация обуславливает и наличие экологических проблем в регионе. Общая эмиссия углекислого газа достигает величины в 129 млн т<sup>5</sup>, что достигает почти 6 % из совокупной эмиссии страны в 2165 млн т.<sup>6</sup> В последние годы в крупнейших городах региона, Челябинске и Магнитогорске, реализуются комплексные планы по снижению уровня выбросов в атмосферу. Тем не менее валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу Челябинска составляет 95 тыс. т, а в Магнитогорске – 163 тыс. т. Несмотря на снижение в последние годы количества загрязняющих веществ поступающих в атмосферный воздух, уровень загрязнения атмосферы Челябинска и Магнитогорска в 2025 г. продолжал характеризоваться как высокий, то есть реализуемые программы пока не достигли своих целей в полной мере. Изменение ситуации может произойти при условии развития в регионе возобновляемой энергетике. Однако данный процесс требует предварительной оценки сделанной на основе возможных сценариев ее развития.

Существующие в настоящее время прогнозы развития возобновляемых источников энергии в России представлены различными источниками и не учитывают крупные ГЭС (гидроэлектростанции). Прогноз сделан о развитии СЭС (солнечных электростанций), ВЭС (ветряных электростанций), малых ГЭС и объектов

биоэнергетики. Полученная информация приведена в табл. 1.

Как видно из таблицы, большинство прогнозных сценариев предполагает увеличение доли выработки возобновляемой энергии до 3 % к 2035 г., а к 2050 – в диапазоне 9–13 % (в среднем 11,5 %). Данные величины были взяты за основу при проведении расчетов, поскольку предварительно проведенные расчеты по солнечному и ветровому потенциалу Челябинской области показывают возможность их реализации в полной мере [14]. В схеме перспективного развития электроэнергетики региона предусматривается развитие возобновляемых источников энергии, это потребует привлечения к деятельности Минэнерго и АРВЭ, имеющие указанные целевые ориентиры.

В Челябинской области присутствуют следующие крупные тепловые электростанции: Челябинские ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, Аргаяшская ТЭЦ, Южноуральская ГРЭС-1, Южноуральская ГРЭС-2, Троицкая ГРЭС, с ежегодной общей выработкой электроэнергии 27367,5 млн кВт·ч.<sup>7</sup> На основе данных схемы и программы развития электроэнергетических систем в Челябинской области было выявлено, что среднегодовой прирост выработки электроэнергии составляет 1,1 %<sup>8</sup>, указанная величина учитывалась в дальнейших расчетах. Следует особо отметить, что за последние 20 лет в структуре их топливного баланса произошли существенные изменения, доминирующим топливом стал природный газ, а доля угля значительно снизилась. В результате проведенных расчетов установлено, что удельная эмиссия CO<sub>2</sub> уменьшилась с 0,87 кг/кВт·ч в 2007 г. [9] до 0,51 кг/кВт·ч в настоящее время. Поскольку при функционировании объектов возобновляемой энергетике эмиссия CO<sub>2</sub> отсутствует, при условии замещения ими традиционной энергии эмиссия на кВт·ч уменьшится на последнюю величину. Изменение топливного баланса оказало влияние и на динамику удельной материальной интенсивности электроэнергетики Челябинской области выраженной в суммарных MI-числах. Проведенные расчеты выявили, что она снизилась с 1,81 кг/кВт·ч в 2007 г. [12] до 1,49 кг/кВт·ч.

<sup>3</sup> Федеральная служба государственной статистики по Челябинской области. [Электронный ресурс]. URL: [https://74.rosstat.gov.ru/industrial\\_production](https://74.rosstat.gov.ru/industrial_production) (дата обращения: 21.04.2026).

<sup>4</sup> О целевых топливно-энергетических балансах Челябинской области. Правительство Челябинской области. [Электронный ресурс]. URL: [https://pravmin.gov74.ru/files/norm\\_act/308-%D1%80.PDF](https://pravmin.gov74.ru/files/norm_act/308-%D1%80.PDF) (дата обращения: 30.04.2026).

<sup>5</sup> По данным Минэкологии Челябинской области. [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/12827389> (дата обращения: 22.04.2026).

<sup>6</sup> Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов. [Электронный ресурс]. URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RUS\\_NIR\\_2025\\_v1\\_rev\\_2025-04-18.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RUS_NIR_2025_v1_rev_2025-04-18.pdf) (дата обращения: 25.04.2026).

<sup>7</sup> Федеральная служба государственной статистики по Челябинской области. [Электронный ресурс]. URL: [https://74.rosstat.gov.ru/industrial\\_production](https://74.rosstat.gov.ru/industrial_production) (дата обращения: 23.04.2026).

<sup>8</sup> Схема и программа развития электроэнергетических систем России на 2023–2028 годы. Челябинская область. СО ЕЭС. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/future\\_plan/public\\_discussion/2023/final/74\\_Cheljabinskaja\\_oblast\\_fin.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/future_plan/public_discussion/2023/final/74_Cheljabinskaja_oblast_fin.pdf) (дата обращения: 24.04.2026).

**Таблица 1**

Прогнозные данные о развитии возобновляемой энергии в Российской Федерации, доля в энергобалансе от общего производства электроэнергии, %

Год	Ассоциация АРВЭ (Агентство развития возобновляемой энергетики) [11]	Российское энергетическое агентство (РЭА) Минэнерго России [12]	Системный оператор Единой энергетической системы (СО ЕЭС) [13]
2035	3	3	–
2050	13	9	12,5

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

**Таблица 2**

Прогнозирование изменения эколого-экономической ситуации в Челябинской области при развитии возобновляемых источников энергии

Год	Доля возобновляемой энергетики в энергобалансе, %	Уменьшение прямой эмиссии CO <sub>2</sub> , млн т	Уменьшение материальной интенсивности в суммарных MI-числах, млн т	Изменение индикатора социо-эколого-экономической сбалансированности
2035	3	0,47	1,36	14,62
2050	11,5	2,11	6,16	12,54
Долгосрочный ориентир	93	17,06	49,85	1

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Осуществленные ранее исследования позволили установить, что социо-эколого-экономическая среда Челябинской области в настоящее время находится в крайне неустойчивом состоянии [7]. Энергетическая мощность хозяйства региона составляет 14,17 ГВт, в то время как ассимиляционная емкость региональных экосистем всего 0,94 ГВт, таким образом индикатор сбалансированности равен 15,02. В норме его величина не должна быть больше единицы. При указанном превышении многие экосистемные функции оказываются нарушенными [15]. Установлено, что исправить ситуацию возможно за счет увеличения доли возобновляемой энергетики в региональном энергобалансе до 93 %. Поэтому при осуществлении расчетов данная величина также была рассмотрена в качестве прогнозной в качестве ориентира на долгосрочный период времени. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таким образом, развитие возобновляемых источников энергии будет иметь некоторое влияние на изменение эколого-экономической ситуации в регионе, однако существенное сокращение эмиссии углекислого газа и материальной интенсивности произойдет только при условии значительного повышения ее доли в энергобалансе.

### Заключение

В результате проведенного исследования было установлено, что электроэнергетика Челябинской области за последние десятилетия устойчиво повышает свою углеродную эффективность и уровень материальной интенсивности. С 2007 г. удельная эмиссия CO<sub>2</sub> в пересчете на киловатт в час выработанной электроэнергии уменьшилась на 41 %, а материальная интенсивность выраженная в суммарных MI-числах – на 20 %. Однако результат был достигнут не за счет развития возобновляемых источников энергии, а благодаря изменению топливного баланса тепловых электростанций, где значительно уменьшилась доля угля и увеличилась природного газа. Научная новизна исследования заключается в том, что в ходе проведенного исследования выявлено, что положительный эколого-экономический эффект для Челябинской области в данном случае практически исчерпан. Дальнейшее повышение эколого-экономической эффективности может идти за счет развития возобновляемых источников энергии. Практическая значимость исследования заключается в том, что предельный подход позволяет прогнозировать изменение эколого-экономической ситуации в Челябинской области по мере увеличения доли возобновляемых источников энергии в региональном энергобалансе.

### Список литературы

1. Алхасов А. Б., Аликеримова Т. Д., Джаватов Д. К., Ниналалов С. А. Мировой опыт стимулирования и поддержки возобновляемой энергетики и перспективы его применения в России // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. № 4. С. 7–20. DOI: 10.26726/1812-7096-2021-4-7-20.
2. Сухарева М. А., Ленков И. Н., Пуую Ч. Углеродная нейтральность: перспективы развития и влияние на мировую экономику // Вестник Московского университета. Серия 21. Управление (государство и общество). 2022. № 3. С. 101–121. URL: <http://vestnik21msu.ru/articles/article/7050/> (дата обращения: 29.04.2026).
3. Сафонов Г. В., Козельцев М. Л., Стеценко А. В., Дорина А. Л., Сафонова Ю. А., Семакина А. А., Сизонов А. Г., Сафонов М. Г. Перспективы декарбонизации мировой экономики в контексте реализации Парижского климатического соглашения ООН // Вестник международных организаций. 2022. Т. 17. № 4. С. 38–61. DOI: 10.17323/1996-7845-2022-04-02.
4. Двинин Д. Ю., Даванков А. Ю. Влияние альтернативных источников энергии на социо-эколого-экономическую сбалансированность регионов. Челябинск: ЧелГУ, 2022. 126 с. DOI: 10.47475/9785727118245.
5. Зорина И. Г., Легошина С. Б., Соколов В. Д. Влияние приоритетных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на структуру заболеваемости населения городов-участников федерального проекта «Чистый воздух» // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 8. С. 1–8. DOI: 10.23670/IRJ.2023.134.25.
6. Ткаченко Ю. Л., Морозов С. Д., Щербакова И. С. О возможных принципах построения энергетики экотехносферы // Управление техносферой. 2025. Т. 8. № 3. С. 380–398. DOI: 10.35634/UdsU.2025.57.87.002.
7. Dvinin D. Y., Davankov A. Y., Malygin N. V., Sidelnikov P. A. Forecasting the possibility of developing low-carbon energy sources in the Chelyabinsk Region // E3S Web of Conferences. 2025. Vol. 623. P. 03011. DOI: 10.1051/e3s-conf/202562303011.
8. Gorshkov V. G., Makarieva A. M. Key ecological parameters of immobile versus locomotive life // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2020. Vol 5. Is. 1. P. 1–18. DOI: 10.21685/2500-0578-2020-1-1.
9. Двинин Д. Ю. Эколого-экономические характеристики традиционной и альтернативной энергетики в регионах Российской Федерации. Челябинск: ЧелГУ, 2020. 127 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42755638> (дата обращения: 29.04.2026).
10. MIT 2014. Wuppertal Institut. MIPS Online. [Электронный ресурс]. URL: [https://wupperinst.org/uploads/tx\\_wupperinst/MIT\\_2014.pdf](https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/MIT_2014.pdf) (дата обращения: 15.04.2026).
11. Рынок возобновляемой энергетики России. Текущий статус и перспективы развития // Информационный бюллетень Ассоциации Агентства развития возобновляемой энергетики (АРВЭ). 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://rreda.ru/upload/iblock/519/8hwuf1swgx9ecj9r2cniyqksw45c7dss/%D0%90%D0%A0%D0%92%D0%AD%2025.pdf> (дата обращения: 15.04.2026).
12. Сценарии развития мировой энергетики до 2050 года // Российское энергетическое агентство (РЭА) Минэнерго России. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/532/qb4bbd3ovo8vu748eymf0qjxn4jenu6t.pdf> (дата обращения: 17.04.2026).
13. Системный оператор рассказал о планируемых изменениях в структуре производства электроэнергии в условиях энергетического перехода // Системный оператор Единой энергетической системы (СО ЕЭС) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.so-ops.ru/news/press-release/press-release-view/news/17665/> (дата обращения: 19.04.2026).
14. Шейко Н. С. Расчет площадных показателей солнечных и ветровых электростанций для обеспечения сбалансированного развития Челябинской области // Образование магистров: проблемы и перспективы развития: тезисы докладов VIII Всероссийской конференции (г. Челябинск, 25–29 ноября 2024 г.). Челябинск, 2025. С. 155–158. EDN: CGLUDF.
15. Мальцев Ю. Г., Султанов Б. Р. Исследование социо-эколого-экономической сбалансированности регионов РФ // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 6–1. 110–115. DOI: 10.17513/vaael.2253.

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

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Финансирование:** Исследование выполнено за счет гранта Фонда перспективных научных исследований ФГБОУ ВО ЧелГУ.

**Financing:** The research was carried out at the expense of a grant from the ChelSU Foundation for Advanced Scientific Research.